České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra mikroelektroniky

Bakalářská práce

Řídicí jednotka LED pásků

Autor: Petr Strnad

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

Studijní program: Elektronika a komunikace

Praha 2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Strnad** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **507213**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**

Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Řídicí jednotka LED pásků

Název bakalářské práce anglicky:

LED Strip Controller

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte řídicí jednotku ovládání svitu LED pásků pro použití v interiéru. Řídicí jednotka by měla být variabilní z hlediska délky pásku, množství LED a napájecího napětí. Ovládání LED by mělo být jednoduché a uživatelsky přívětivé.
Postup řešení:
1) Prostudujte způsoby ovládání různých typů LED pásků a zvolte, z vašeho pohledu, nejdůležitější parametry, které by měly splňovat jednotky pro jejich řízení. Vyberte pár zástupců komerčně dostupných produktů a porovnejte je z pohledu vámi vybraných parametrů.
2) Na základě přechozího bodu zadání navrhněte koncepci vlastního řešení, které by mělo umožnit připojení pásků minimálně s 5V a 12V napájecím napětím, variabilní délkou a počtem LED. Zvolte vhodný způsob vzdáleného a lokálního ovládání módu svitu LED.
3) Vyberte vhodné součástky, navrhněte desku plošných spojů a jednotku realizujte.
4) Otestujte funkčnost řídicí jednotky na aspoň dvou typech pásků.

Seznam doporučené literatury:

[1] Fraden, Jacob: Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications, Fifth Edition, Springer, 2016
[2] Dogan, I.: PIC Microcontroller Projects in C: Basic to Advance, Newnes, 2014
[3] Záhlava, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů, BEN, Praha, 2011

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Teplý katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **13.02.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **21.09.2025**

Ing. Tomáš Teplý podpis vedoucí(ho) práce	prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

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

V Praze, 24. května 2024 .....

Podpis autora práce

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Tomáši Teplému za podporu a čas, kterou mi v průběhu psaní této práce věnoval. Velké díky patří také mé přítelkyni, rodině a přátelům za nesmírnou podporu a trpělivost během mého dosavadního studia. V neposlední řadě děkuji také kolegům z týmu Automotive, firmy STMicroelectronics za cenné rady při návrhu a realizaci výsledného zařízení.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací řídicí jednotky pro ovládání adresovatelných LED pásků. Nejprve byl proveden průzkum trhu s dostupnými LED pásky a analýza jejich vlastností, na základě čehož byly stanoveny základní požadavky na řídicí jednotku. Dále byl vybrán vhodný hardware a komponenty, následoval návrh elektronického schématu a desky plošných spojů (DPS). Poslední část práce se zaměřila na finální testování a vývoj specifického firmwaru. Výsledkem této práce je plně funkční a soběstačná řídicí jednotka, která je schopna automaticky rozpoznat typ LED pásku z hlediska napájení a nastavit odpovídající napájecí napětí.

Klíčová slova: adresovatelný LED pásek, řídicí jednotka, deska plošných spojů

Abstract

This thesis focuses on the design and implementation of a control unit for addressable LED strips. Initially, a market survey of available LED strips and their properties was conducted to establish the basic requirements for the control unit. Subsequently, suitable hardware components were selected, followed by the design of the electronic schematic and the printed circuit board (PCB). The final part of the thesis involved comprehensive testing and the development of specific firmware. The result of this work is a fully functional and autonomous control unit capable of automatically detecting the type of LED strip in terms of power requirements and adjusting the power supply voltage accordingly.

Keywords: addressable LED strip, electronic control unit, printed circuit board

Seznam použitých zkratek

LED	Light Emitting Diode (světelná dioda)
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (bezdrátová síť)
RGB	Red-Green-Blue barevný model
PWM	Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
IC	Integrated Circuit (integrovaný obvod)
SDI	Serial Data Input (sériový datový vstup)
CKI	Clock Input (vstup hodinového signálu)
SMD	Surface Mounting Device (povrchově montované zařízení)
TFT	Thin Film Transistor (tenkovrstvý tranzistor)
BJT	Bipolar Junction Transistor (bipolární tranzistor)
FET	Field-Effect Transistor (unipolární tranzistor)
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
IR	Infrared (infračervený)
IO	Input/Output
NO	Normally Open
DPS	Deska Plošných Spojů
THT	Through Hole Technology (technologie průchozích otvorů)
ADC	Analog-Digital converter (analog-digitální převodník)

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Schéma zapojení analogového RGB pásku [1] 2

Obrázek 2.2: WS2813 mikrokontrolér [3] 3

Obrázek 2.3: Mikrokontrolér s několika Daisy-chain zařízeními [4] 4

Obrázek 2.4: Chip APA102-2020 [5] 4

Obrázek 2.5: Komunikační protokol APA102 chipů. 5

Obrázek 4.1: LCD1602 pinout [6] 10

Obrázek 4.2: Hallova sonda. 11

Obrázek 4.3: IR komunikace [8] 12

Obrázek 5.1: Schéma zapojení relé a tranzistoru. 14

Obrázek 5.2: Závislost proudového odběru I na počtu rozsvícených LED pro pásek WS2811 15

Obrázek 5.3: Závislost proudového odběru I na počtu rozsvícených LED pro pásek WS2813b 15

Obrázek 5.4: VA charakteristiky LED 15

Obrázek 5.5: Schématické zapojení proudového senzoru 16
Obrázek 5.6: Závislost úbytku napětí na počtu rozsvícených LED 17
Obrázek 5.7: Schéma komponent v segmentu 18
Obrázek 5.8: ESP32 S2 mini pinout 18
Obrázek 5.9: Schéma zapojení ESP32 S2 mini 19
Obrázek 5.10: LM1117MPX-3.3 [12] 19
Obrázek 5.11: Schéma zapojení napěťového regulátoru 20
Obrázek 5.12: Schéma zapojení tlačítek 21
Obrázek 5.13: TSOP4838 [13] 21
Obrázek 5.14: Schéma zapojení LCD konektoru 22
Obrázek 6.1: Würth elektronik konektory 24
Obrázek 6.2: 3D model řídicí jednotky 24
Obrázek 7.1: Řídicí jednotka osazená součástkami 25
Obrázek 7.2: Závislost bitové hodnoty na napětí analog-digitálního převodníku ESP32 [16] 27

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání typů pásků 6
Tabulka 2: Proudové odběry různých počtů LED 16

Obsah

1. Úvod ... 1

1.1. Cíl práce ... 1

2. Průzkum trhu ... 2

2.1. Vlastnosti ... 2

2.1.1. Adresovatelnost ... 2

2.1.2. Napájení pásků ... 3

2.2. Typy LED pásků ... 3

2.2.1. WS281x ... 3

2.2.2. APA102 ... 4

2.3. Shrnutí ... 6

3. Stanovení požadavků na řídicí jednotku ... 7

4. Výběr komponent ... 8

4.1. Mikrokontrolér ... 8

4.2. Napájecí zdroj ... 8

4.3. Výběr zobrazovací jednotky ... 9

4.4. Maticová klávesnice 4x4 ... 10

4.5. Proudový senzor ... 11

4.6. Přepínač napájení ... 12

4.7. Dálkové ovládání ... 12

5. Návrh schématu ... 13

5.1. Napájení LED pásků ... 13

5.1.1. Proudový odběr ... 14

5.1.2. Snímání proudu ... 16

5.1.3. Úbytek napětí ... 17

5.2. ESP32 S2 mini ... 18

5.2.1. Regulátor napětí ... 19

5.3. Vstupní periferie ... 20

5.3.1. Tlačítka ... 20

5.3.2. IR přijímač ... 21

5.4. Výstupní periferie ... 22

5.4.1. LCD jednotka ... 22

6. Návrh desky plošných spojů ... 23

6.1. DPS řídicí jednotky ... 24

7. Osazování a testování DPS ... 25

7.1. Osazování DPS ... 25

7.2. Testování DPS ... 26

8. Implementace softwaru ... 28

8.1. Vývojové prostředí ... 28

8.2. Použité knihovny ... 28

8.2.1. Knihovna Adafruit NeoPixel.h ... 29

8.2.2. Knihovna LiquidCrystal.h ... 29

8.2.3. Knihovna IRremote.h ... 29

8.2.4. Knihovna CostumeKeypad.h ... 29

8.3. Firmware pro mikrokontrolér ... 30

9. Závěr ... 31

Použitá literatura ... 32

Přílohy: Schémata, DPS ... 34

1. Úvod

V dnešní době se snad již každý setkal s dálkově ovládaným osvětlením ať už v interiéru či venkovních prostorách. Velice populárním výběrem se staly právě LED pásky pro jejich levné pořizovací náklady, jednoduchost, a především dlouhou životnost. Nicméně tato popularita s sebou přináší i určitá negativa. Trh je v současné době přehlcen různými typy pásků a příslušenstvím. Tím vzniká jistá povinnost pro zákazníka se, před pořízením takovýchto technologií, předem informovat. Ne všechny výrobky jsou totiž navzájem kompatibilní. Mohou zde tedy nastat situace, kdy zákazník pořídí LED pásek spolu s ovládáním a napájením v jednom balení a připraví se tak o možnost v budoucnu některou z těchto částí obměnit. Další nežádaná situace může nastat při koupi každé z částí od jiného výrobce a následná nefunkčnost či dokonce poškození při finálním zapojení.

Na následujících stránkách se detailně věnuji možnému řešení podobných problémů. Mé zařízení by pak ve výsledku mělo být schopné převzít v podstatě jakoukoli zodpovědnost od zákazníka, a navíc i zjednodušit obsluhu.

1.1. Cíl práce

Cílem práce je tedy navrhnout a realizovat univerzální ovládání LED pásků, které bude schopné plynule ovládat více druhů adresovatelných pásků bez ohledu na jejich typ, napájení či délku. Realizace by měla být praktická a cenově dostupná.

Ovládání bude řešené lokálně i dálkově. Lokálně v podobě jednoduché klávesnice a LCD displeje. Dálkově pak jednoduchým dálkovým ovladačem. Jedním z budoucích rozšíření by pak bylo i ovládání domácím asistentem napojeným na Wi-Fi síť.

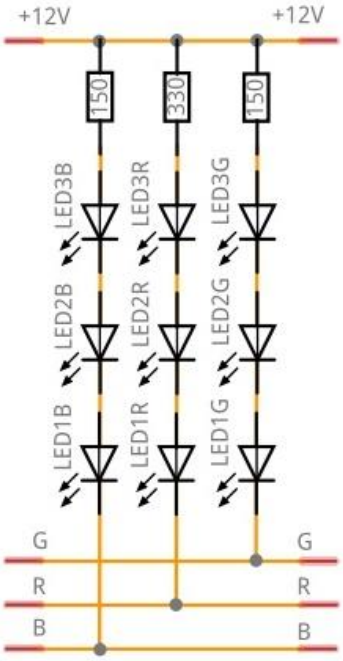
2. Průzkum trhu

Jak již bylo zmíněno v úvodu, na trhu je možné nalézt nepřeberné množství LED pásků a jejich řídicích jednotek. Výrobky jsou dostupné v jednotném balení nebo po částech. Každý z pásků má ale své specifikace, na které je třeba brát zřetel. V této kapitole proto projdu ta nejzákladnější kritéria spolu s konkrétními zástupci různých cenových kategoriích.

2.1. Vlastnosti

2.1.1. Adresovatelnost

RGB pásky se prodávají ve dvou základních provedeních. Prvním je standardní neadresovatelný RGB pásek, někdy též nazývaný jako analogový. Řízení jasu a barev probíhá čistě hardwarově. Pásek je osazený pouze světelnými RGB diodami, které mají společnou anodu. Katoda každé z diod je vyvedena zvlášť na svůj vodič v závislosti na barvě (viz Obrázek 2.1). Výhodou tohoto typu je jednoduchost ovládání a nižší cena. Není třeba žádný integrovaný mikrokontrolér. Stačí pouze zařízení přepínající mezi vodiči v závislosti na ovládání.



Obrázek 2.1: Schéma zapojení analogového RGB pásku [1]

Druhým typem jsou takzvané Neopixel pásky. Ty jsou navíc osazené mikrokontroléry sloužícími k adresování jednotlivých segmentů. Pochopitelně jsou tyto pásky poněkud dražší oproti výše zmíněným, nicméně umožňují uživateli ovládat každý segment samostatně, čehož se využívá například pro světelné efekty. Zde je však potřeba mít poněkud složitější řídicí jednotku, která bude schopna vysílat PWM signál v přesných intervalech. Navíc jsou

kladené určité nároky na paměť. Chceme-li adresovat každý segment zvlášť a průběžně, musí být v paměti uložený celkový počet segmentů. Tyto pásky se následně dělí podle typu chipsetů a počtu LED na jeden chip.

2.1.2. Napájení pásků

Napájení pásků se různí. Standardní napájecí napětí bývá 5 V, 12 V a 24 V, avšak mohou se vyskytovat i jiná napětí. Každá LED má určitý příkon, který bývá konstantně cca 0,3 W na LED. Proud nutný k rozsvícení pak vyplývá z datasheetu LED [2].

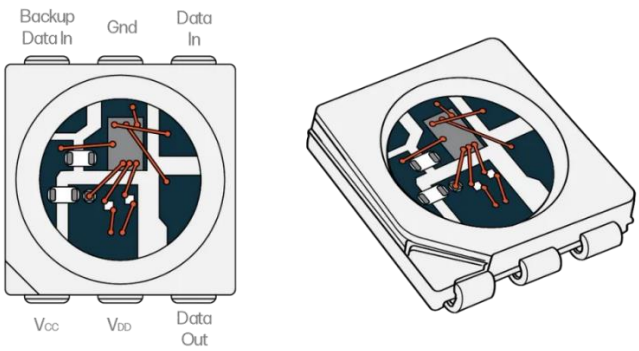
Dalším důležitým parametrem je délka pásku. Vlivem úbytků napětí na vodičích a segmentech dochází u delších pásků ke snížení jasu, což se projevuje posunem barev v barevném spektru směrem k delším vlnovým délkám. Z tohoto důvodu se doporučuje přivést napájení po každých 60 LED. Samozřejmě je třeba brát v potaz i hustotu osazení pásku. Máme-li například pásek o délce jednoho metru s osazením 144 LED/m, je možné mít napájení přivedené pouze na oba konce. Na druhou stranu můžeme mít pásek s osazením 30 LED/m a zde by, například při délce 4 m, bylo uprostřed pásku již poznat mírné zkreslení barev.

2.2. Typy LED pásků

Vzhledem k povaze této práce jsem se rozhodl zaměřit pouze na adresovatelné LED pásky. Na trhu existuje celá řada pásků využívajících různé technologie. Pro naše účely považuji za důležité zmínit především produkty řady WS281x, APA102.

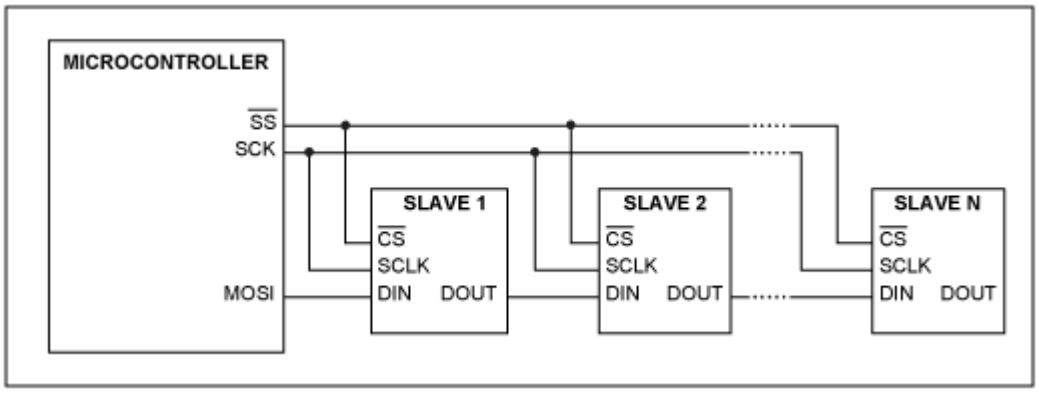
2.2.1. WS281x

Označení WS281x neoznačuje přímo pásek či diody, nýbrž mikrokontroléry sloužící k ovládaní segmentů. Písmena WS jsou iniciály výrobce *WorldSemi*. Čísla 281 udávají sérií chipů pro adresování a písmeno x zde reprezentuje číslo, lišící se pro konkrétní pásek. Každý pásek se pak vyrábí ve třech možných hustotách osazení 30 LED/m, 60 LED/m a 144 LED/m. Napájet se dají typicky 5 V a 12 V, ale existují i varianty pro 24 V.



Obrázek 2.2: WS2813 mikrokontrolér [3]

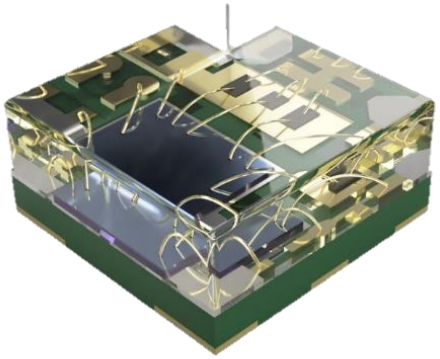
Ke komunikaci mezi chipy slouží speciální protokol někdy nazývaný jako NeoPixel či WS protokol. Tento protokol je identický pro všechny výrobky řady WS281x. Komunikace probíhá pouze po jednom vodiči a je jednosměrná. Z řídicí jednotky je vyslán řetězec celkem 24 bitů. Prvních osm bitů nastavuje úroveň červené, druhých osm bitů úroveň zelené a poslední bity jsou pro nastavení modré barvy. Po přijmutí prvních 24 bitů je časová prodleva, kterou obvod vyhodnotí jako konec vysílání, zachová své nastavení a zbylá data přeposílá skrze svůj výstup dál. Procházející signál je pak „ochuzen“ právě o přijatých 24 bitů. Je-li časová prodleva delší než 280 µs, chip se resetuje a znovu přijímá nových 24 bitů. Jedná se o takzvanou *Daisy-chain* komunikaci. Příklad zapojení zařízení využívajících *Daisy-chain* komunikaci lze vidět níže (Obrázek 2.3).



Obrázek 2.3: Mikrokontrolér s několika Daisy-chain zařízeními [4]

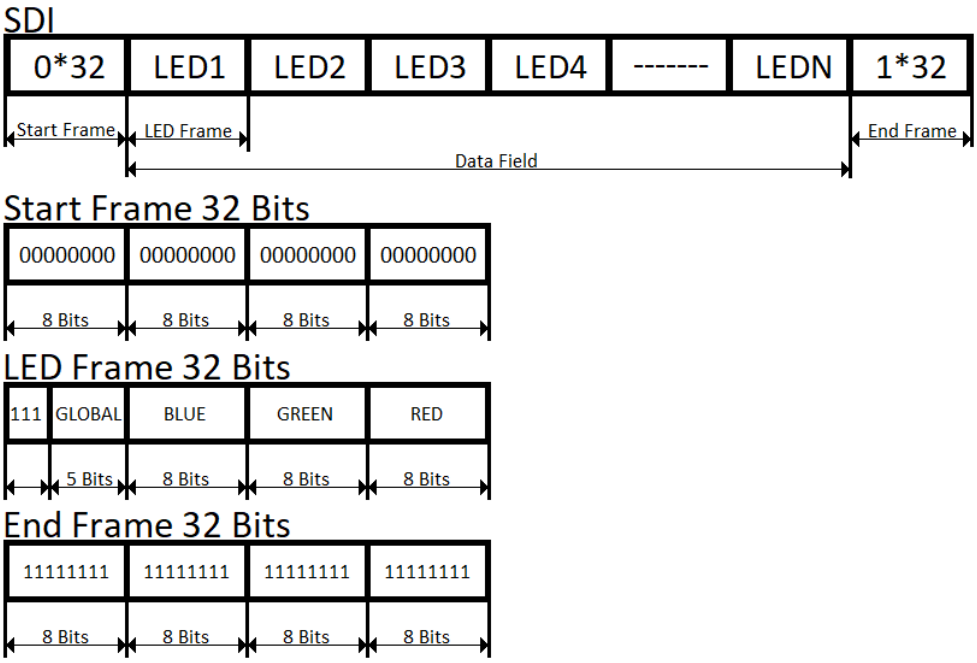
2.2.2. APA102

APA102 je integrovaný obvod využívající CMOS technologii. Hlavním rozdílem oproti WS obvodům je, že APA IC není přímo integrovaný do LED, ale je separátní, což v některých případech umožňuje větší flexibilitu ovládání. Díky technologii CMOS je pak možné dosáhnout výrazně vyšší rychlosti a lepší efektivity.



Obrázek 2.4: Chip APA102-2020 [5]

Chip APA102 je šestipinový obvod s celkem dvěma napájecími, dvěma vstupními a dvěma výstupními piny. Prvním vstupním pinem je SDI. Tento pin kontinuálně přijímá data z řídicího obvodu a zpracovává je. Data jsou posílána v řetězcích složených z 32bitových rámců. Začátek řetězce je oznámen odesláním 32 nulových bitů (START FRAME), poté následuje datové pole s informacemi pro jednotlivé LED. Konec vysílání je ukončen takzvaným koncovým rámcem 32 jednotkových bitů (viz Obrázek 2.5).



Obrázek 2.5: Komunikační protokol APA102 chipů

LED rámce jsou rozdělené do čtyř menších sektorů pro jas a tři základní barvy. První sektor obsahuje pouze první tři bity, které jsou vždy nastavené jako „111“ a značí začátek nového LED rámce. Zbylých 5 bitů pak nastavuje globální jas v mezích 0 až 31.

Druhý vstupní pin se nazývá CKI. Jedná se o hodinový signál, který pomáhá synchronizovat jednotlivé IC spolu s LED. Vlivem posílání hodinového a datového signálu po dvou různých vodičích je možné dosáhnout rychlejšího datového přenosu a přesnějšího ovládání LED.

Indexování pak funguje obdobně jako u WS obvodů. Každý APA obvod si vezme „svých“ 32 bitů a zbytek přeposílá dál pomocí SDO a CKO. Z pohledu napájení jsou tyto pásky méně flexibilní. Vyrábí se pouze pro 5 V či 3,3 V.

2.3. Shrnutí

Na závěr této kapitoly jsem vytvořil menší tabulku (Tabulka 1), shrnující veškeré výhody a parametry volně dostupných pásků. Část tabulky je věnována i dalším typům pásků, pro které však není nutné psát samostatnou podkapitolu, jelikož se jim nebudu nadále věnovat.

Tabulka 1: Porovnání typů pásků

Název	**WS2811**	**WS2813b**	**WS2815**	**APA102-2020**	**SK6812**
PWM frekvence (kHz)	800	80	800	800÷1200	800÷1200
Napájení napětí (V)	12	5 V	24 V	5 V	5 V
Cena[1][2] (Kč)	100÷150	200	250	500÷600	~250
Speciální funkce	IC ovládá 3 LED naráz	bypass v případě nefunkčního čipu	-	LED a IC jsou separátní	ovládání je kompatibilní s WS i APA102 chipy

Ve svém projektu předvedu možné řešení řídicí jednotky pouze pro pásky WS2811 a WS2813b. Vzhledem k parametrům udávaným výrobci by pak jednotka měla být schopna ovládat i zbylá zařízení zmíněná v tabulce.

[1] Cena je pro metrový pásek s 60 LED/m.
[2]Uváděné ceny jsou minimální a mohou kolísat v závislosti na výrobci.

3. Stanovení požadavků na řídicí jednotku

Jak již bylo zmíněno v kapitole Cíl práce, řídicí jednotka má korektně ovládat pásek nezávisle na jeho napájecím napětí, fyzické délce a počtu LED. Tyto parametry jsou tedy rozhodujícími pro celkový návrh a konečnou realizaci. Nicméně hlavní otázkou je, jak moc má tato jednotka být univerzální při dosažení co nejvyšší efektivity.

Mnoho produktů, které lze komerčně koupit, je přímo určených pro konkrétní pásek a tomu je pak uzpůsobeno i napájení. Toto napájení je pevné a nelze jej přenastavit. To znamená, že ovládání například WS2811 pásku nelze použít na ovládání WS2813b, i když jsou komunikační protokoly totožné. Rád bych tedy vyrobil jednotku, která bude umět rozpoznat napájecí napětí pásku hned po jeho připojení, aniž by došlo k poškození některého z prvků soustavy.

Délka pásku úzce souvisí s hustotou osazení pásku, a navíc i s maximálním výkonem napájecího zdroje. Například pro sto LED je třeba zdroj o výkonu nejméně 30 W. Je tedy potřeba specifikovat, zda-li je maximální délka pásku stanovena v počtu LED nebo ve fyzikální délce. Dalším důležitým faktorem je také celkový úbytek napětí na vodičích i na jednotlivých LED. Zatímco pro třicet LED je úbytek konstantní nezávisle na tom, jestli je tento počet LED rozložený na jednom metru či dvaceti centimetrech, celkový úbytek na pásku se mění. Ačkoli jsou vodiče měděné, tudíž mají dobrou elektrickou vodivost, stále na nich vzniká malý úbytek napětí, který se sčítá a při větších vzdálenostech jej nelze zanedbat. Proto musím ve svém projektu stanovit maximální délku pásku při konkrétní hustotě osazení, aby nedocházelo k pohasínání částí pásku. Z tohoto důvodu lze najít v kapitole Napájení LED pásků tabulku s přesnými hodnotami poklesu napětí a proudového odběru.

Dalším bodem je jednoduché a uživatelsky přívětivé ovládání. Většina dnešních řídicích jednotek je ovládaných dálkově buďto dálkovým ovladačem nebo přes různé aplikace. Pro svůj projekt jsem se rozhodl použít lokální ovládání pomocí šestnácti tlačítek pro základní funkce jako je nastavení barev a jasu. Veškerá nastavení budou dále viditelná na LCD displeji. Dálkové ovládání pak bude realizováno pomocí dálkového ovladače.

4. Výběr komponent

V této kapitole se zaměřím na výběr vhodných komponent pro řídicí jednotku. Hlavní důraz bude kladen na klíčové prvky, jako jsou mikrokontrolér, LCD displej, spínání a další významné části. Zbylé komponenty, nezbytné pro správnou funkci jednotky, budou podrobněji probrány v kapitole Návrh schématu.

4.1. Mikrokontrolér

Mikrokontrolér je základním stavebním kamenem řídicí jednotky, zodpovědným za správnou funkci celého zařízení. Jeho výběr vyžaduje důkladnou úvahu a čas, neboť propojuje všechny prvky jednotky a zajišťuje jejich součinnost. Zprostředkovává řízení displeje, čtení a interpretaci signálů z klávesnice a dálkového ovladače, přepínání napájecích napětí, a především umožňuje ovládání LED pásků, což by bez jeho přítomnosti nebylo možné.

V rámci svého projektu jsem zkoumal různé možnosti mikrokontrolérů s ohledem na jejich dostupné funkce. Prvním kandidátem byl mikrokontrolér PIC18F47K40, který je schopen efektivně řídit LED pásky, avšak není snadno integrovatelný do domácí sítě Wi-Fi. Stejně tak není možné využít vývojové Arduino desky z důvodu omezené kompatibility s Wi-Fi. Jako alternativu jsem zvažoval možnost využití mikropočítače Raspberry Pi nebo vývojového kitu STM32. Nakonec jsem se rozhodl pro desku ESP32 S2 Mini, která splňuje všechny požadavky. Je plně kompatibilní s deskami Arduino i prostředím *Arduino IDE*, nabízí širokou škálu funkcí, a především disponuje integrovanou Wi-Fi anténou, což z ní činí ideální volbu pro tento projekt. S ohledem na počet zařízení, která mám v plánu připojit k mikrokontroléru, bude také vysoký nárok na počet pinů tohoto kontroléru. Tento nárok ESP32 S2 mini splňuje dostatečně s celkovým počtem čtyřiceti pinů.

Důvodem pro napojení desky na Wi-Fi síť je budoucí doplnění o ovládání přes internetové rozhraní. ESP32 lze napojit na domácího asistenta a tím z něho udělat součást chytré domácnosti. Nicméně k tomuto napojení je zapotřebí pořízení systému Home assistant. Napojení platformy na domácího asistenta navíc není triviální záležitostí a vyžaduje alespoň základní předešlé zkušenosti v oblasti síťových technologií a programování. Proto zde domácího asistenta ponechám pouze jako jednu z možností a dále se tomuto tématu nebudu věnovat.

4.2. Napájecí zdroj

LED pásky spolu s ovladači bývají tradičně napájeny spínanými zdroji. Tyto zdroje mají pevně nastavené napětí a maximální výkon. Pro můj projekt jsou ale nevyhovující. Pásky WS2811 a WS2813 jsou oba napájeny jiným napětím a nelze je připojit na pevno k jednomu či druhému. Napojení WS2813 na trvalé napětí 12 V by znamenalo poškození pásku, a naopak WS2811 by při 5 V svítilo velice slabě. Proto musí být k napájení použit jiný zdroj, který je schopen dodávat obě napěťové úrovně současně. Popřípadě bude schopen mezi těmito úrovněmi přepínat.

Nejvhodnějšími zdroji by se tak jevily počítačové zdroje. Ty jsou koncipovány do několika větví určených různým částem počítače. Takovéto zdroje jsou však drahé a maximální proud větve s napěťovou úrovní 5 V bývá 16 A, což je pro potřeby řídicí jednotky nedostačující. Jedním z možných řešení je návrh vlastního spínaného zdroje, schopného dodávat vyšší proud. Samozřejmě by pak také nebylo potřeba tolika sektorů. Stačily by dva pro napájení LED na 5 V a 12 V. Přičemž by každá z větví dodávala odlišný proud. Výroba takového zdroje by však byla velice složitá, protože je potřeba transformovat střídavé napětí ze sítě na stejnosměrné, a to poté rozdělit do dvou až tří větví. Každá větev by pak musela být samostatně regulovaná zpětnovazební smyčkou, aby se docílilo co nejstabilnějšího výstupního napětí. Napájení LED má navíc tu nevýhodu, že jakékoli kolísání se okamžitě projeví ve svitu pásku.

V průběhu práce jsem se zabýval tématikou spínaných zdrojů více do hloubky a dospěl názoru, že návrh podobného zdroje je poněkud nepraktický. Realizace by byla natolik drahá, že by si nikdo takovýto zdroj nepořídil. Jednodušší varianta napájení je míti více totožných zdrojů rovnoměrně rozložených po celé délce pásku. Takto se docílí dostatečného proudu v celém pásku, a navíc by jednotlivá napojení fungovala jako takzvané „power injections“. Tudíž by se zabránilo stmívání LED a barvy a jas by byly ve všech místech konstantní.

Nicméně toto byla pouze jedna z možných variant. Pro svůj projekt jsem vybral dva navzájem nezávislé napěťové zdroje každý s výkonem 200 W a výstupními napětími právě 5 V a 12 V. Mezi těmito zdroji pak budu přepínat v závislosti na typu pásku.

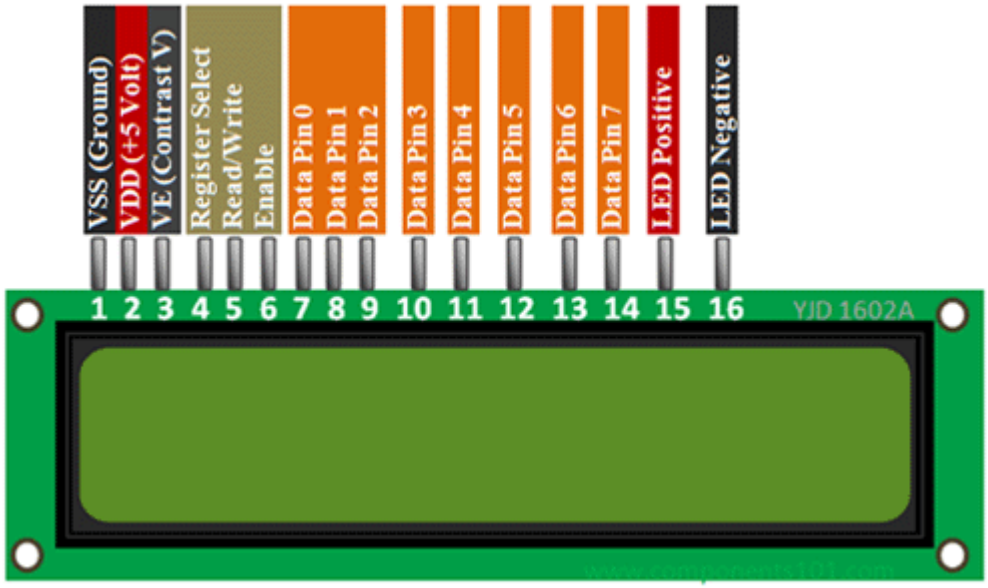
4.3. Výběr zobrazovací jednotky

Dnes obsahují v podstatě veškerá zařízení domácnosti nějaký typ zobrazovače a moje jednotka není výjimkou. Je však třeba si určit, co všechno vlastně bude jednotka zobrazovat a jak výkonnou či kvalitní zobrazovací jednotku k tomu bude potřeba.

Ovládání LED pásků se řeší jak lokálně, tak dálkově a často není zcela jasné, jaká nastavení jsou momentálně aktivní. Zvažoval jsem využití OLED displejů pro jejich syté barvy a vynikající vlastnosti. Poté mě však napadlo použít dotykové displeje. Pořídil jsem si tři různé dotykové displeje a zkoumal a experimentoval s jejich funkcemi. Prvním se stal TFT displej. Jedná se o poměrně zastaralou technologii rezistivních dotykových displejů. Použití tohoto typu jsem v podstatě ihned zavrhl. Šlo jej ovládat pouze pomocí speciálního pera, a to nebylo moc praktické. Dalším displejem byl sedmipalcový kapacitní displej s VA technologií. Ten se jevil vcelku slibně kvůli nízké pořizovací ceně, poměrně vysokému rozlišení, a především mnoha funkcím, které vykompenzovaly absenci jakékoli dokumentace. Byl zde však problém s dlouhodobým výkonem. Modul ESP32 nedokázal plně podporovat veškeré dostupné funkce. Tento nedostatek se následně odrážel v kvalitě obrazu. Nakonec mi byl zapůjčen STM32 Discovery kit. Ten se jevil velice slibně. Podporoval řadu funkcí včetně propojení s internetem, měl velice podrobnou dokumentaci a kvalitní displej. Bohužel jsem si však postupem času uvědomil, že celý kit pozvolna přejímal funkce ostatních prvků řídicí jednotky. Mikrokontrolér ESP32 S2 mini lze připojit k domácí bezdrátové síti, a tedy jej i eventuálně ovládat skrze mobilní telefonní zařízení. Vzhledem k faktu, že dnes jsou veškerá

mobilní zařízení vybavena dotykovým displejem, jsem se rozhodl od moderních displejů upustit a raději použít LCD variantu.

Pro svůj projekt jsem si tedy zvolil LCD1602 modul Hitachi HD44780. Tento displej obsahuje celkem dva řádky, každý dlouhý šestnáct znaků a je vybaven modrým podsvícením. Jelikož se veškeré ovládání okamžitě projeví na výstupu, je tento displej spíše informativní, a tudíž není nutná vysoká kvalita obrazu či rychlá odezva displeje. Barvy výstupního LED pásku lze nastavovat v rozmezí 0 až 256 a například pro míchání vlastních barev se vyplatí znát přesnou hodnotu každé ze složek RGB modelu. Další funkcí displeje je zpětná vazba jednotky při automatickém výběru pásku.



Obrázek 4.1: LCD1602 pinout [6]

4.4. Maticová klávesnice 4x4

Maticová klávesnice 4x4 je matice šestnácti tlačítek seskupených do čtverce. Tímto zapojením lze docílit použití více tlačítek při nižším počtu potřebných vyhodnocovacích pinů. Namísto připojení všech tlačítek zvlášť na vlastní piny, se vyvedou pouze jednotlivé řady a sloupce. Tím se sníží počet nezbytných signálů z šestnácti na osm. Čtyři piny slouží jako vstupní a zbylé čtyři jako výstupní.

Způsob vyhodnocování je vcelku jednoduchý. Na vstupní piny se přivede logická jednička a sledují se všechny výstupy. Pro přesnější popis si označíme vstupní signály jako řady matice a výstupní signály jako sloupce. Při stisku některého z tlačítek dojde k propojení obvodu a vstupní napětí se objeví na některém z výstupů. Tím se nalezne sloupec, ve kterém se tlačítko nachází. Po nalezení odpovídajícího sloupce se funkce pinů prohodí a postup se opakuje. Výsledná řada společně se sloupcem udávají přesnou souřadnici stisknutého tlačítka.

Každému z tlačítek bude přiřazená vlastní funkce. Tyto funkce jsou ON/OFF, vyšší/nižší jas, nastavení červené, zelené a modré, přidávání/ubírání červené, zelené a modré, teplá a studená bílá, a nakonec jsem nechal dvě tlačítka volná pro případné přidání efektů.

Tento typ lokálního ovládání jsem zvolil pro jednoduchost a praktičnost. Nepotřebuje žádný externí modul pro svoji funkci a zároveň je cenově dostupný.

4.5. Proudový senzor

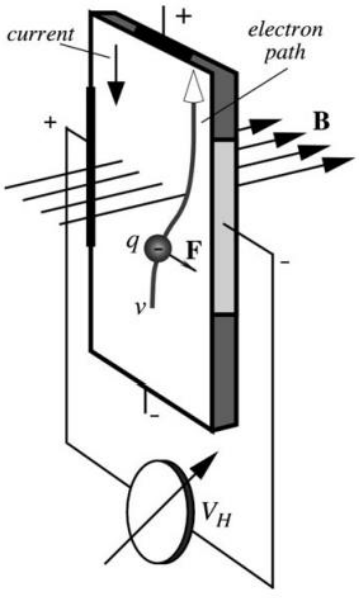
Měření proudu je poněkud složitější než měření napětí. Zvláště pak na desce plošných spojů. Proto existují zařízení zvané proudové senzory.

Jedním z nejtradičnějších provedení jsou senzory využívající Hallova efektu. Hallův efekt je elektromagnetický jev, který poprvé objevil americký fyzik Edwin H. Hall. Princip je založen na základě interakce mezi pohyblivými nosiči elektrického náboje a vnějšího magnetického pole ve vodivých materiálech [7]. Tato interakce je popsána vztahem

$$\boldsymbol{F} = q(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) . \qquad (4.1)$$

Jednotlivé veličiny popisují přesný průběh celého efektu. Polovodičovou deskou (Obrázek 4.2) prochází proud I. Přivedením destičky do kontaktu s magnetickým polem, reprezentovaným elektrickou indukcí **B**, kolmo na desku, začne působit síla **F** na náboj[3] q a na stranách desky vznikne Hallovo napětí U_H.

Na elementární úrovni to lze popsat následovně. Nosiče elektrického náboje q putují ze záporného přívodu proudu do kladného[4]. Přiložením magnetického pole **B** vzniká síla **F**. Síla je výsledkem vektorového součinu rychlosti **v** a indukce **B**, a tudíž je její vektor kolmý na oba vektory zároveň. Ta následně způsobí vychylování trajektorie náboje q a začne jej „tlačit" ve směru **F**. To zapříčiní hromadění nábojů na jedné straně a úbytkem nábojů na straně druhé. Navenek se přeskupování nábojů projeví jako vznik elektrického napětí U_H. Hallovo napětí je poté snímáno pomocí elektrod a vyhodnocováno. Velikost U_H je přímo úměrná velikosti proudu polovodičem.



Obrázek 4.2: Hallova sonda

Z předchozího odstavce je zřejmé, že pomocí Hallovy sondy lze měřit proudy v širokém rozsahu, což přesně odpovídá potřebám mé aplikace. Bude-li pásek provozován při vysokém zatížení a vysokém proudu, bude sonda schopna danou situaci zvládnout. Naopak, při rozpoznávání typu pásku, kde se očekává měření proudu na úrovni miliampér, je senzor plně dostačující. Významnou výhodou jsou i prakticky nulové ztráty v průběhu měření a tím i zanedbatelné zahřívání plošného spoje.

[3] Velikost elektrického náboje je $1{,}6 \cdot 10^{-19} C$.
[4] Obecně platí dohoda, že elektrický proud teče opačně.

4.6. Přepínač napájení

Přepínání napájecího napětí je řešeno speciálním zapojením s elektromagnetickým relé a spínacím MOSFET. Relé přepíná mezi napájecími zdroji a dodává na výstup vždy pouze jednu napěťovou úroveň. Tranzistor zde slouží jako spínač relé. Relé potřebuje ke svému spínání dostatečný proud, který by mikrokontrolér nebyl schopen dodat a v případě, že by jej nakonec úspěšně sepnul by naopak nemusel vydržet následné rozpojení. Proto mikrokontrolér spíná pouze tranzistor, který následně sepne relé a zajistí i jeho rozepnutí.

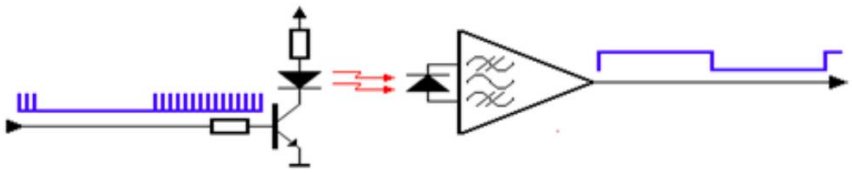
I když by celý obvod mohl být pohodlně navržen pouze pomocí MOSFET, existuje riziko jeho přetížení a následného trvalého otevření. Zničení nemusí být vždy zcela patrné a mohlo by způsobit poškození celého zařízení. V takovém případě by byl výstup napájen dvěma zdroji současně. Naopak relé v případě poškození zůstává trvale v jednom stavu či je nevodivé.

4.7. Dálkové ovládání

Levnější ovládací jednotky jsou nejčastěji ovládány právě dálkovým ovladačem. Dle mého názoru je tento způsob ovládání nejjednodušší a velice praktický, protože ne vždy je možné ovládat pásek přes aplikaci. Vysílaná média mohou být různá. V tomto projektu jsem použil jako médium infračervené záření.

Způsob komunikace mezi ovladačem a ovládaným zařízením je v principu velice jednoduchá. Ovladač má zabudovanou infračervenou světelnou diodu sloužící jako vysílač. Ovládané zařízení má naopak infračervenou fotodiodu přijímající kódovaný signál. Jedná se tedy o jednosměrnou komunikaci mezi ovladačem a zařízením. Dioda vysílá infračervené záření ve formě pulzů. Fotodioda tyto pulzy zachytí a na výstupu generuje odpovídající napěťovou úroveň. Ta je následně zesílena operačním zesilovačem a odeslána do vyhodnocovacího obvodu. Princip komunikace je znázorněn na obrázku níže (Obrázek 4.3).

Výhodou této komunikace je, že v podstatě nezáleží na použitém ovladači. Stačí si prozkoušením všech tlačítek zachytit a dešifrovat jednotlivé kódy a s těmi pracovat. Používání je navíc velice intuitivní.



Obrázek 4.3: IR komunikace [8]

5. Návrh schématu

Návrh schématu je pravděpodobně nejdůležitějším krokem při realizaci jakéhokoli projektu. Právě v návrhu se totiž definují funkce celého zařízení. Schéma se skládá z jednotlivých elektronických součástek, které se spojují do celků – bloků. Tyto bloky se následně propojují a tvoří kompletní zařízení. Součástky jsou zobrazeny pomocí vlastních schématických symbolů.

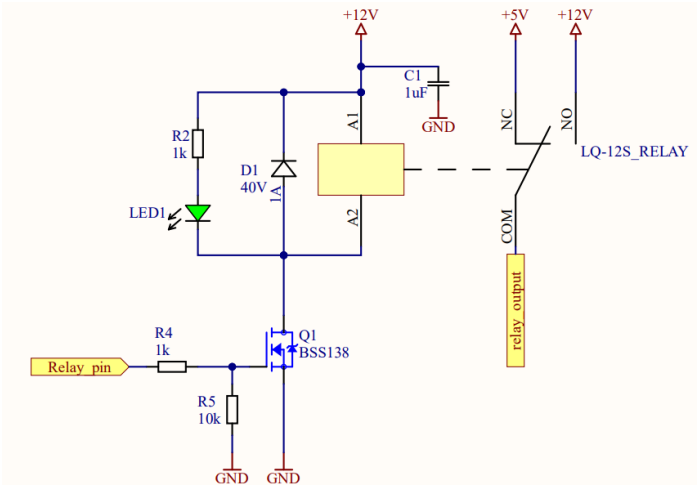
Každý z prvků má svoji specifickou funkci, která nemusí přímo souviset s funkcí celé jednotky. Tyto prvky mohou být například pasivní součástky (kondenzátory, rezistory), aktivní součástky (diody, tranzistory) či konkrétní zapojení jako jsou odrušovací filtry.

Při vzájemném propojování je nutné se řídit určitými zákonitostmi, a především datasheety jednotlivých obvodů, aby nedošlo při fyzickém spuštění k poškození zařízení. Ačkoli se ve schématu neřeší fyzické vlastnosti ani rozložení, je výhodné přiřadit prvkům konkrétní pouzdra, popřípadě i 3D modely. Ušetří to spoustu času při importu do DPS.

Programů pro návrh schématu a plošných spojů existuje několik. V průběhu této bakalářské práce jsem se blíže seznámil s *KiCad* a *Altium Designer*. Druhý zmíněný mě oslovil více, tudíž jsem jej použil k výslednému návrhu. Schéma je logicky uspořádáno do jednotlivých bloků dle funkce. Celkové rozložení je poté koncipováno zleva, tedy od vstupů signálů a napájení, přes spínání a řídicí jednotky, až po výstupy vpravo viz Příloha A. Návrhu každého z bloků jsem níže věnoval samostatnou podkapitolu.

5.1. Napájení LED pásků

V předešlých kapitolách jsem zmínil určité potíže při napájení LED pásků. Ty jsou způsobeny právě parametry pásků. Kvůli možnému napájení dvěma napěťovými úrovněmi je třeba přivést i dva napájecí zdroje. Pouze připojení však nestačí. K navrhované jednotce budou oba zdroje připojeny konstantně na rozdíl od pásku, který bude vždy pouze jeden. Mezi zdroji je tedy nutné přepínat. Přepínání je dosaženo pomocí automobilového relé spínaného MOSFET tranzistorem (viz Obrázek 5.1). Při návrhu bylo třeba věnovat pozornost faktu, že relé se pro obvod jeví jako induktivní zátěž a při jejím rozpínání by mohlo dojít k poškození řídicího mikrokontroléru. Mikrokontrolér má navíc předepsanou maximální hodnotu výstupního proudu pinů 40 mA a maximální napětí 3,3 V, a to samo o sobě k sepnutí relé nestačí. Proto jsem ke spínání využil unipolární tranzistor. Ten lze spínat přivedením napětí mezi hradlo Gate a Source. Pak už pouze stačí vybrat vhodný tranzistor s prahovým napětím U_{GS} nižším, než je dosažitelné napětí na jednotlivých pinech, což podle [9] činí právě 3,3 V.



Obrázek 5.1: Schéma zapojení relé a tranzistoru

Tranzistor i relé jsou navíc doplněny o součástky C1, R2, D1, LED1 a rezistory R4 a R5. C1 je pouze odrušovací kondenzátor. LED1 slouží k signalizaci sepnutého relé a R2 je předřadný rezistor pro snížení napětí na LED1. D1 je důležitá při rozpínání relé. Relé, jakožto induktivní zátěž, má při jakékoli změně napětí tendenci zachovávat směr proudu a mohlo by indukovat protinapětí. To by v krajním případě mohlo vést až ke zničení tranzistoru. Rezistor R4 funguje jako ochrana před proudovými špičkami vzniklých při spínání tranzistoru. R5 je pouze prevence před samovolným otevřením MOSFET, kdyby se pin mikrokontroléru dostal do stavu vysoké impedance. Vzniklý napěťový dělič R4 a R5 zde nemá žádnou specifickou roli. Jedná se spíše o parazitní vlastnost obvodu.

Jak je v prvním odstavci podkapitoly Napájení LED pásků patrné, při schématickém návrhu je třeba brát v potaz skutečné parametry všech použitých prvků, a to včetně výstupních periferií[5]. V podstatě celý napájecí blok bylo nutné navrhnout právě kvůli zátěži na výstupu. LED pásky mají při své délce a osazení určitý proudový odběr i úbytky napětí. Měření těchto parametrů bylo nedílnou součástí celkové realizace, proto považuji za nezbytné jej zde také zmínit.

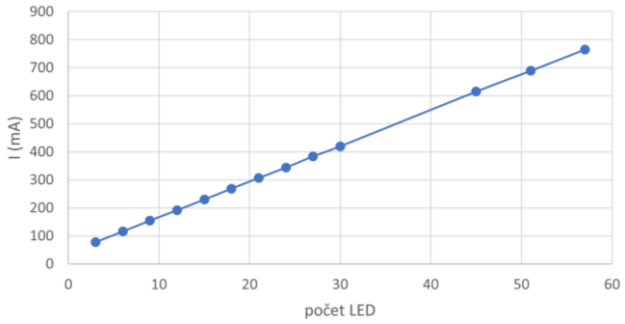
5.1.1. Proudový odběr

Byť se to tak nemusí zdát, tato kapitola popisuje hlavní a nejdůležitější myšlenku celé mé práce. V předešlých kapitolách jsem popisoval jednotlivé druhy pásků a jejich vlastnosti. Na základě toho lze říci, že všechny zmíněné druhy jsou od sebe vlastnostmi prakticky k nerozeznání. Zlom nastává při měření proudu tekoucího páskem. Ten je přímo závislý na napájecím napětí. Právě proto jsem se rozhodl provést sadu měření a zkoumat tento proudový odběr při vybraných hodnotách napájecího napětí. Tím jsem získal charakteristiky, na základě kterých lze navrhnout a zkonstruovat funkční prototyp jednotky.

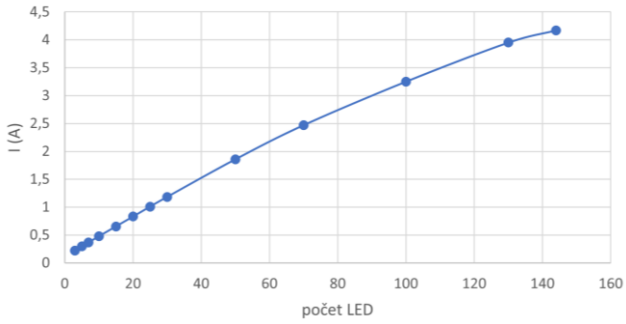
[5] Periferie jsou zařízení, která se připojují k jinému zařízení a rozšiřuje tím jeho funkce.

Každá z LED má definovaný klidový proud. Uvedená hodnota v datasheetu [10] je 60 mA nezávisle na typu pásku. Chipy WS2811 i WS2813 mají také proudový odběr, ten je však 1 µA a lze jej zanedbat. Na obrázcích (Obrázek 5.2 a Obrázek 5.3) lze názorně vidět, že závislost proudu na počtu rozsvícených LED při maximálním jasu a barvách je téměř lineární, a to pro oba pásky. Měření proběhlo při konstantním napětí (5 V pro WS2813b a 12 V pro WS2811).

Význam tohoto měření plní zásadní roli v celém návrhu. Při znalosti konkrétních hodnot je nyní možné sledovat elektrický proud tekoucí ze zdroje do pásku a tím i rozeznat jeho typ a celkový počet LED.

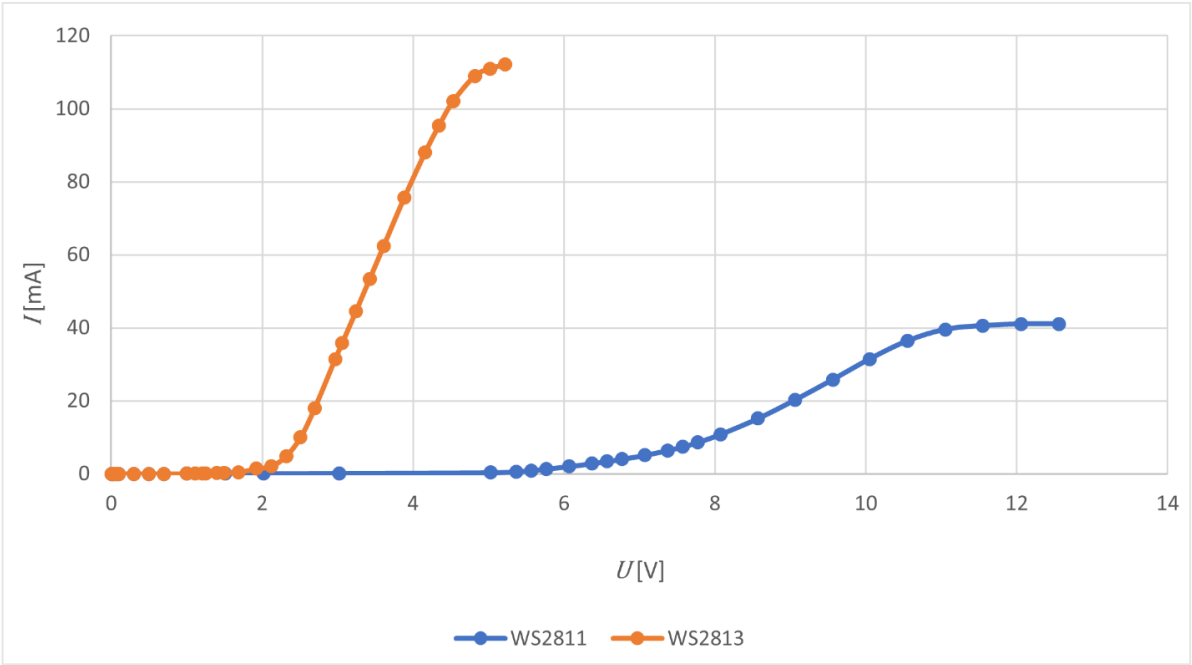


Obrázek 5.2: Závislost proudového odběru I na počtu rozsvícených LED pro pásek WS2811



Obrázek 5.3: Závislost proudového odběru I na počtu rozsvícených LED pro pásek WS2813b

Na obrázku níže (Obrázek 5.4) je vyobrazena voltampérová charakteristika pásků při rozsvícení tří LED. Každý z pásků pracuje při jiném napájecím napětí. Měření proběhlo s napětím v rozsahu 0 V až 12,5 V. Naměřené hodnoty proudů mi umožnily rozlišovat mezi pásky z pohledu napájecího napětí. Například při přiložení napětí 5 V k pásku WS2813 je hodnota proudu 110 mA. Při Přiložení totožného napětí k pásku WS2811 dosáhne proud pouze hodnoty 0,33 mA. Rozdíl mezi těmito hodnotami definuje typ připojeného pásku.



Obrázek 5.4: VA charakteristiky LED

V kapitole Stanovení požadavků na řídicí jednotku jsem uváděl nutnost zavést určitá omezení na pásek. Tato omezení vychází právě z měření. Snímání proudu je ovlivněno maximální a minimální hodnotou proudového odběru, a především rozlišovací schopností senzoru. Zatímco spodní hranice může být v podstatě nulová, horní jsem omezil na 20 A. To, jak lze vidět v tabulce (Tabulka 2), odpovídá počtu přibližně 600 LED. Nicméně aby nedošlo k přílišnému zahřívání DPS, omezím maximální uváděnou délku pouze na 500 LED. Tím si uchovám určitou rezervu a zabráním zničení některé z komponent při překročení doporučeného počtu LED.

Tabulka 2: Proudové odběry různých počtů LED

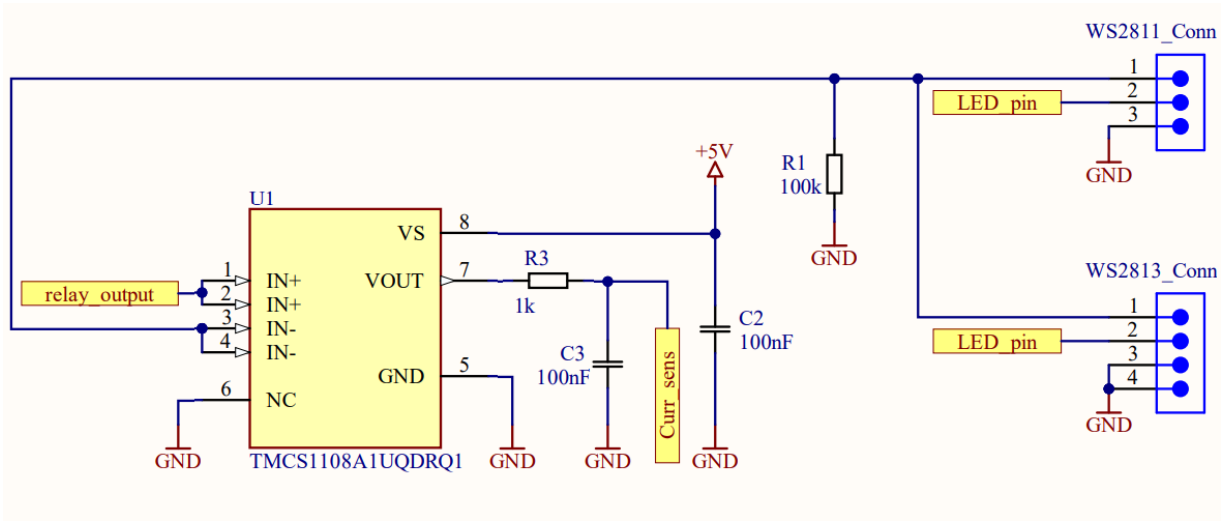
WS2813b při konstantním napětí 5,019 V										
I (mA)	111	148	185	222	259	296	333	370	3697	18483
počet LED (-)	3	4	5	6	7	8	9	10	100	500

WS2811 při konstantním napětí 12,06 V										
I (mA)	41	55	68	82	96	109	123	137	1367	6837
počet LED (mA)	3	4	5	6	7	8	9	10	100	500

5.1.2. Snímání proudu

Na předešlou kapitolu přímo navazuje návrh zapojení proudového senzoru. Ideálním kandidátem je senzor firmy Texas Instruments TMCS1108-Q1. Jedná se o galvanicky oddělený senzor, využívající Hallova jevu, schopný měřit střídavý i stejnosměrný proud [11]. Při napájecím napětí 5 V je schopen měřit až 86 A.

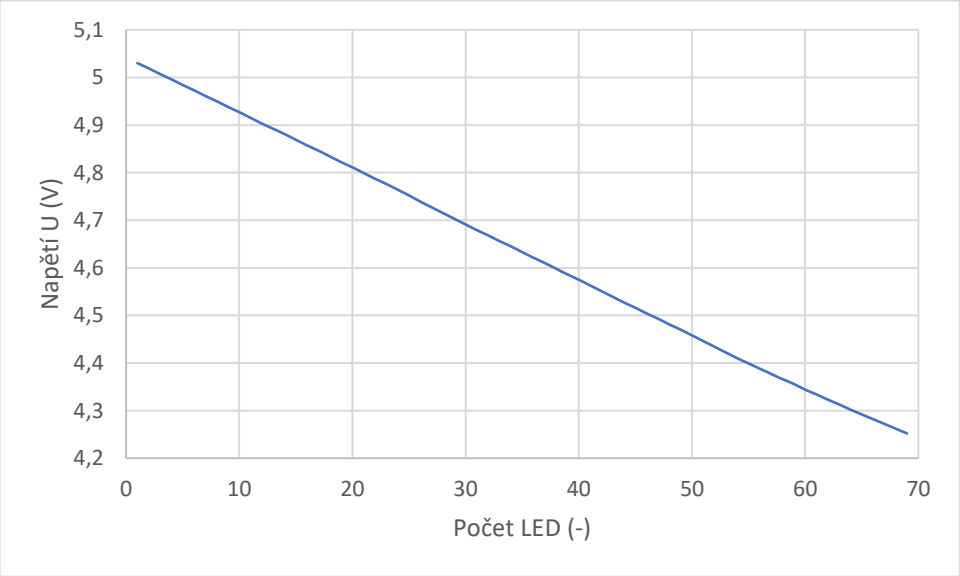
Schématické zapojení je doporučené zapojení převzaté z datasheetu [11] doplněné o RC článek na analogovém výstupu. RC článek slouží jako dolnofrekvenční propust odfiltrovávající vyšší frekvence. Kondenzátor C2 slouží jako takzvaný „decoupling capacitor“ pro filtrování vlnění vstupního napětí. Takové kapacitory se musí na DPS pokládat co nejblíže k určenému obvodu, aby na vedení nevznikala nežádoucí indukčnost.



Obrázek 5.5: Schématické zapojení proudového senzoru

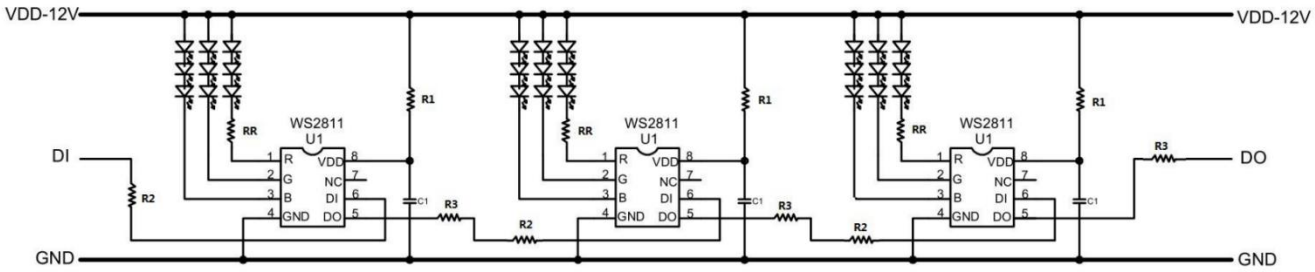
5.1.3. Úbytek napětí

V průběhu měření jsem zaznamenával také pokles napětí při postupném spouštění LED na obou páscích. Jak jsem již zmínil v předešlých kapitolách, pásek je rozdělený na jednotlivé segmenty, které fungují v podstatě nezávisle na sobě, což vyplývá i ze způsobu komunikace. Každý segment obsahuje právě jeden mikrokontrolér a jednu až tři RGB LED (počet LED závisí na typu chipu). Řazení LED v segmentech je sérioparalelní řazení (viz Obrázek 5.7). Každá z LED je připojena anodou k napájecímu napětí. Rozdíl nastává v připojení katody. Ta vede dle barvy do odpovídajícího pinu WS281x chipu, který ji v závislosti na datech propojuje se zemí. Dané zapojení pak zaručuje, že úbytek napětí jednotlivých segmentů je konstantní. Úbytky se tedy sčítají s každým rozsvíceným segmentem. Vedení jako takové se ve velkém měřítku jeví jako sériově řazený elektrický odpor, který ze své podstaty vyvolává úbytky napětí při průchodu elektrického proudu. Protože je ale počet rozsvícených LED úměrný velikosti proudu, a tedy i úbytkům napětí, použil jsem právě tento počet jako nezávislou proměnnou do grafu. Z naměřených hodnot jsem vypočítal průměrnou hodnotu napěťových úbytků. Ta činní 11 mV na segment.



Obrázek 5.6: Závislost úbytku napětí na počtu rozsvícených LED

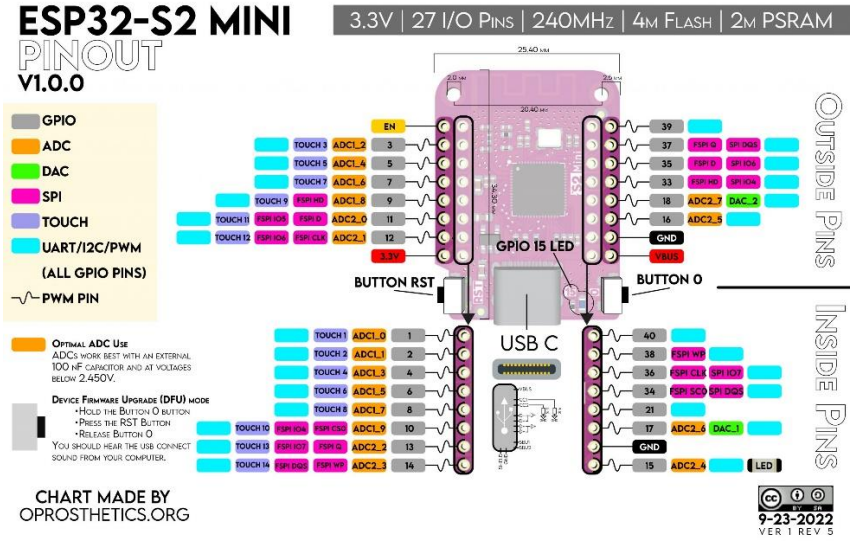
Pohasínání vzdálenějších LED se ukázalo býti složitější, než se zprvu jevilo. Napájení celého pásku vyžaduje takový zdroj, který by byl schopen dodávat do obvodu konstantní proud nezávisle na vzniklých úbytcích napětí, a přitom tyto úbytky regulovat. Výkon takového zdroje by musel být mnohonásobně vyšší než zdroje, které jsem zde použil. Navíc je třeba brát v potaz, že technologie pásků není uzpůsobena takovýmto proudům. Právě z těchto důvodů jsem omezil délku pásku na deset metrů. Tato podmínka spolu s maximálním množstvím 500 LED by měla zabránit pohasínání pásku při zachování jisté univerzálnosti ve výběru délky.



Obrázek 5.7: Schéma komponent v segmentu

5.2. ESP32 S2 mini

Řídicím obvodem celé mé jednotky je právě vývojová deska ESP32 S2 mini. Tato deska je běžně dostupná k zakoupení a pořizovací cena se pohybuje okolo 200 Kč. Má velice malé rozměry při vysokém počtu IO pinů. Každý z pinů má navíc více funkčních módů, ve kterých zpracovává signály. Pro nás jsou důležité především módy PWM, digitální a analogový mód. Každý z pinů je schopen dodávat typicky 40 mA[9]. Napájet desku je možné pouze 3,3 V napětím.



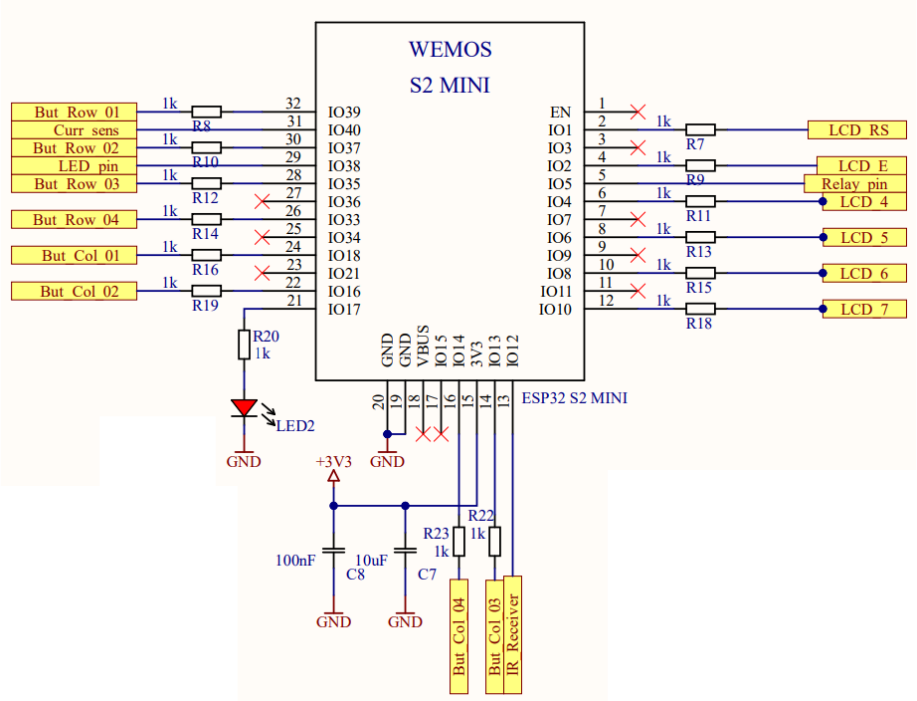
Obrázek 5.8: ESP32 S2 mini pinout

Na obrázku (Obrázek 5.9) lze vidět napojení jednotlivých pinů spolu s jejich funkcemi v obvodu. Každému z pinů se budu zvláště věnovat v podkapitolách podle zařízení, ke kterému patří. Zde uvedu pouze nastavení IO pinů.

Většina pinů funguje v digitálním módu. Jmenovitě se jedná o piny s označením IR_Receiver, But_RowX0x, But_Col0x a LCD piny. But_Col0x a IR_Receiver piny jsou jediné nastaveny jako vstupní, zbytek je výstupní.

Analogové a PWM piny se ve schématu vyskytují pouze dva. Curr_sens slouží ke čtení analogového signálu z proudového senzoru a je tedy vstupní a výstupní LED pin posílá PWM signál do LED pásků.

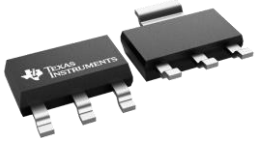
Kromě ESP se v tomto bloku nacházejí navíc pasivní součástky. Rezistory jsou zde preventivně proti poškození pinů při případnému nárůstu proudu. Kondenzátory C7 a C8 jsem zde umístil pro vyhlazení napájecího napětí.



Obrázek 5.9: Schéma zapojení ESP32 S2 mini

5.2.1. Regulátor napětí

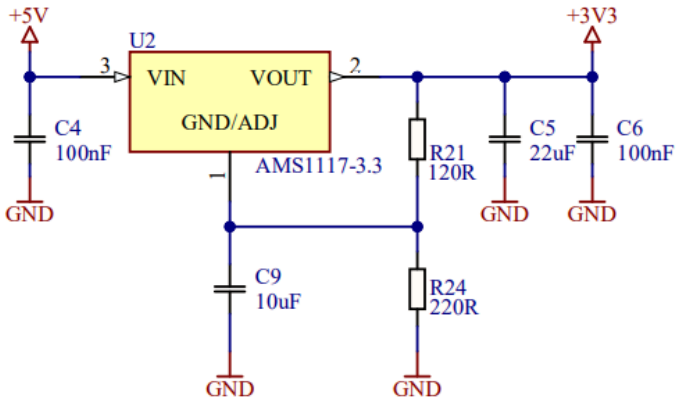
Jak již bylo zmíněno, ESP32 desku lze napájet pouze 3,3 V. Zdroje napájení jsou však pěti a dvanácti voltové. Přímé připojení by pak znamenalo zničení desky. Proto je třeba napětí ze zdrojů regulovat na přijatelnou hodnotu. K tomu nám slouží regulátory napětí. Ve schématu (Obrázek 5.11) lze vidět standardní zapojení napěťového regulátoru převádějícího napětí v rozsahu 3 V až 12 V na 3,3 V. Celé zapojení vyplývá z datasheetu pro LM1117MPX-3.3 [12].



Obrázek 5.10: LM1117MPX-3.3 [12]

Vstupní i výstupní kapacity zamezují kolísání napětí. Rezistory R21 a R24 tvoří napěťový dělič. Poměrem odporů docílím požadovaného napětí na výstupu viz rovnice (5.2). Kapacita C9 na ADJ výstupu pouze odvádí vzniklé rušení do země, aby se nedostalo na výstup.

$$U_{OUT} = 1{,}25\left(1 + \frac{R_{24}}{R_{21}}\right) \tag{5.2}$$



Obrázek 5.11: Schéma zapojení napěťového regulátoru[6]

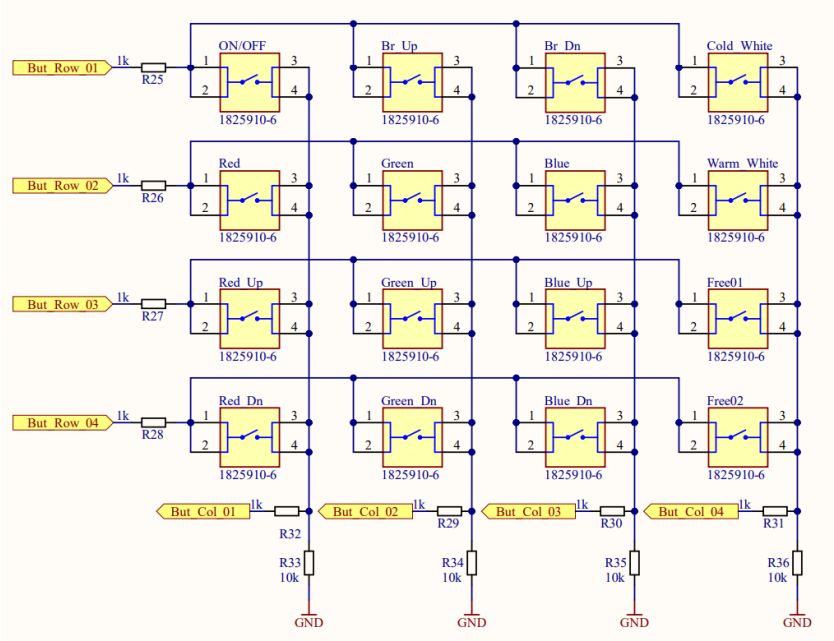
5.3. Vstupní periferie

Vstupními periferiemi se zde rozumí ovládání řídicí jednotky. Tyto periferie jsou tedy tlačítka klávesnice a přijímač délkového ovládání. Obě zařízení jsem detailně popsal v kapitole Maticová klávesnice 4x4 a Dálkové ovládání. Proto v následujících odstavcích popíši pouze schématický návrh.

5.3.1. Tlačítka

Tlačítka jsou velice jednoduché pasivní součástky. Ve svém návrhu jsem použil typ NO. To znamená, že v normálním stavu jsou kontakty rozpojené a spojí se teprve při stisku. Klávesnici 4x4 jsem nakreslil zvlášť ve schématu kvůli její velikosti. Rezistory na signálových vstupech a výstupech jsou kvůli omezení proudu. Bez jakéhokoli odporu by při stisku tlačítka došlo ke zkratu, a to by mohlo mít nežádoucí účinky na zbytek zařízení. Rezistory R33 až R36 slouží jako pull-down rezistory. V případě nestisknutí žádného z tlačítek zaručují, že na výstupu bude skutečně nula.

[6] Ve schématu lze vidět regulátor AMS1117-3.3 místo LM1117MPX-3.3. Jedná se pouze o zjednodušení návrhu, jelikož AMS1117 komponenta měla knihovnu již hotovou, a to včetně pouzdra i 3D modelu. Obvody lze z tohoto pohledu nahradit.



Obrázek 5.12: Schéma zapojení tlačítek

5.3.2. IR přijímač

IR přijímač je třípinová aktivní součástka a zapojení je velice jednoduché. První pin je 5 V pro napájení, prostřední pin je datový a poslední je zem. Datový pin posílá dekódovaný signál přímo do ESP32 a tam se vyhodnocuje.

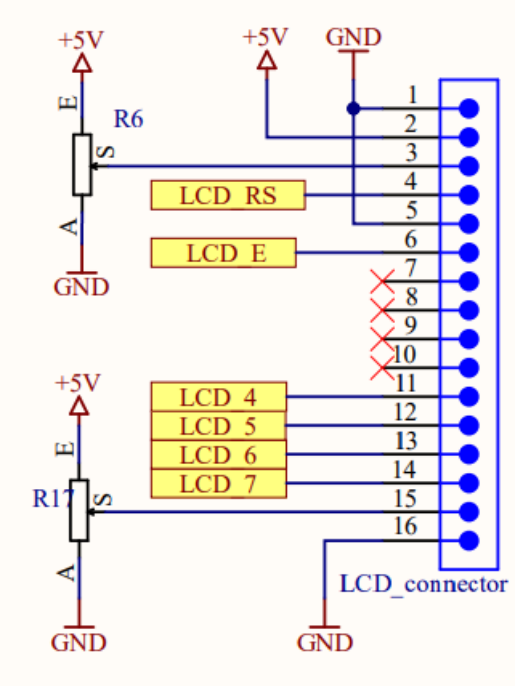
Obrázek 5.13: TSOP4838 [13]

5.4. Výstupní periferie

Výstupní periferie jsou v našem případě pouze dvě. První a hlavní výstupní periferií je LED pásek. Způsob zapojení jsem popsal již v předešlých kapitolách. Druhou periferií je zobrazovací LCD jednotka.

5.4.1. LCD jednotka

LCD modul má celkem šestnáct pinů. První, pátý a šestnáctý jsou trvale připojeny na zem. Druhý pin slouží k napájení pěti volty. Třetí a patnáctý obsluhují jas znaků a podsvícení. Regulace probíhá pomocí dvou trimrů[7] s odporem 1 kΩ. Čtvrtý pin slouží k nastavení registrů pro rozlišení, zda-li data reprezentují znak pro zobrazení či příkaz. Šestý pin povoluje zápis znaků a piny 11 až 14 určují souřadnice zápisu a typ znaků. Zbylé piny jsou nezapojené.



Obrázek 5.14: Schéma zapojení LCD konektoru

[7] Rezistor s nastavitelnou hodnotou elektrického odporu.

6. Návrh desky plošných spojů

Podobně jako při návrhu schématu je i zde nutné se řídit několika pravidly. Pro jednodušší představu jsem návrh rozdělil do několika po sobě jdoucích kroků. Pořadí kroků není striktně dané, nicméně dle mých zkušeností se časté přeskakování nevyplácí.

Prvním krokem by při návrhu DPS mělo být přiřazování, popřípadě vytváření, pouzder jednotlivých součástek. Většinu pouzder jsem přiřadil již při tvorbě schématu použitím součástek s integrovanými knihovnami. Stává se však, že ne všechny součástky mají dostupná pouzdra již v knihovně. V takových případech je třeba pouzdra nakreslit. *Altium Designer* má přesně k těmto účelům vlastní nástroj pro kreslení pouzder. Velikou výhodou při výběru správných knihoven s pouzdry jsou přiřazené 3D modely. Díky nim je ve 3D módu možné zobrazit skutečný model DPS včetně všech součástek.

Pouzdra jsem vybíral především SMD typu kvůli malým rozměrům a snazšímu návrhu. Velikost součástek jsem zvolil 0805. Jedná se o střední cestu z pohledu rozměrů a náročnosti osazování.

Dalším nezbytným krokem je nastavení návrhových pravidel DPS. Pravidla se odvíjejí od technologických možností výrobců. Je proto třeba se ve všech fázích návrhu řídit právě těmito možnostmi chceme-li, aby výroba proběhla v pořádku. Nastavováním pravidel pak pouze „přenášíme“ kontrolu návrhu na program. Ve svém návrhu jsem se řídil možnostmi udávanými firmou PragoBoard s.r.o., která se zabývá výrobou DPS. Minimální izolační vzdálenost a šířku spojů udávají 0,2 mm. Já si pro jistotu nechal určitou rezervu a tento rozměr navýšil na 0,5 mm. Vrtané otvory pak mám nejmenší možné, tedy 0,3 mm průměr otvoru a 0,6 průměr vnějšího pokovení.

Nyní přichází na řadu rozmístění součástek na desce. Z mého pohledu se jedná o nejnáročnější část celého DPS návrhu. Tato část standardně zabírá nejvíce času. Je třeba brát v potaz především vzdálenosti mezi specifickými součástkami a možné rušení. Například vyhlazovací kondenzátory je třeba umístit co nejblíže k náležité součástce, analogové signály by neměly být vedeny dlouhými úseky a vzdálenost současně spínaných součástek by měla být totožná. Obecně lze říci, že na správném umístění součástek závisí správná funkce obvodu a této činnosti zpravidla věnujeme více času než samotnému návrhu vedení spojů [14].

Při rozmisťování součástek je třeba také myslet na určitou estetiku. Tou se myslí rozmístění potisků s názvy komponent a jejich čitelnost. Absence potisků výrazně ztěžuje následné osazování.

Finálním krokem je takzvaný routing, návrh vodivých spojů. Než propojíme dvě součástky, musíme si ujasnit, jaký typ, a především síla signálu danou cestou povede. Analogové signály musí mít trasu co nejkratší, aby nedocházelo k indukování rušení. Tento spoj se totiž chová jako anténa a přijímá rušení z okolí či naopak generuje rušení do ostatních součástek. Samozřejmě jsou důležité i ostatní parazitní parametry (odpor, kapacita, impedance). Maximální síla signálu, který smí vodivou cestou bezpečně procházet, je určena proudovou zatížitelností. Ta závisí na šířce mědi, počtu měděných vrstev, maximálním proudu spoje nárůstu okolní teploty a plochou příčného řezu spojem [14]. Dalším faktorem je umístění spoje. Vnější spoje snesou vyšší proud než vnitřní spoje při stejných parametrech.

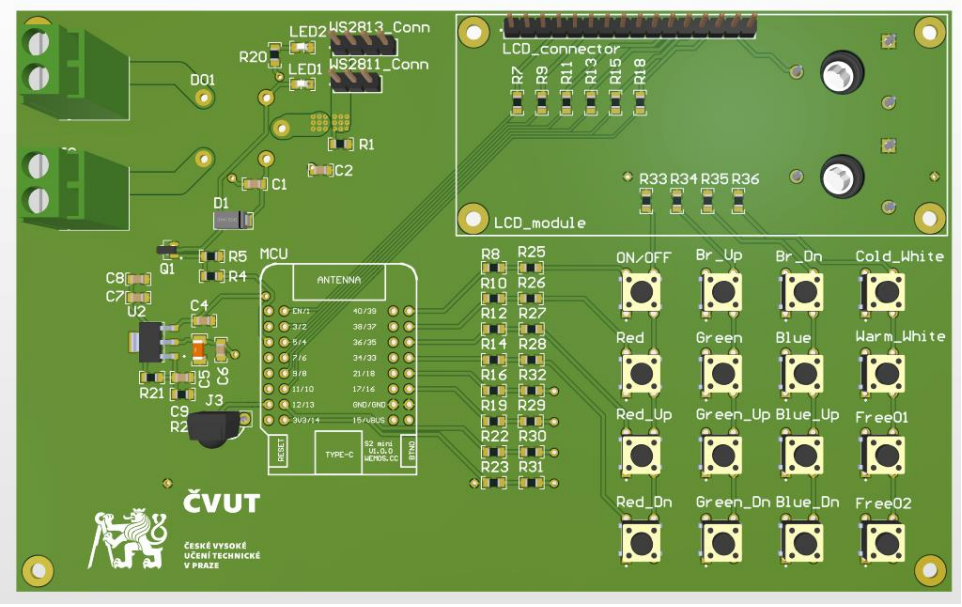
6.1. DPS řídicí jednotky

DPS pro řídicí jednotku jsem navrhl čtyřvrstvou s tloušťkou mědi 70 µm. A to právě kvůli vysokému proudu[8], který by, při zapojení maximálního počtu LED, mohl deskou téci. Rozměry desky činí 152 mm x 95 mm. Jednotka se skládá celkem ze sedmdesáti pěti součástek, tudíž jsou rozměry poněkud větší, než je nutné. Na obrázku v příloze (Příloha C) lze vidět hotový návrh DPS.

Obrázek 6.1: Würth elektronik konektory

Signály jsem vedl vrstvami v závislosti na rozložení součástek, nicméně až na proudovou zatížitelnost nemá více vrstev žádný jiný specifický význam. Do středu desky jsem umístil celkem čtyři osmipinové řady pro jednoduché napojení ESP32. Napájení je přivedeno konektory značky Würth elektronik schopných snést až 20 A. Z konektorů pak vede vodivý spoj o šířce 3,5 mm do proudového senzoru a poté do konektorů pásků. Konektory pro napojení LED pásků jsou dva. První je třípinový určený většině pásků, druhý má o pin navíc a slouží k napojení pásku WS2813b. Pin navíc slouží pro takzvaný bypass. Obrázek 6.2 ukazuje 3D model hotového DPS vygenerovaný programem *Altium Designer*.

Po celé ploše si lze všimnout otvorů. Otvory jsou určeny pro distanční sloupky se závitem M3[9]. Ty slouží k vyvýšení desky při osazování a manipulaci, k upevnění LCD modulu a případně i k budoucímu upevnění do krabičky.



Obrázek 6.2: 3D model řídicí jednotky

[8] Tloušťka mědi jednotlivých vodivých vrstev se sčítá.
[9] M3 značí průměr závitu 3 mm.

7. Osazování a testování DPS

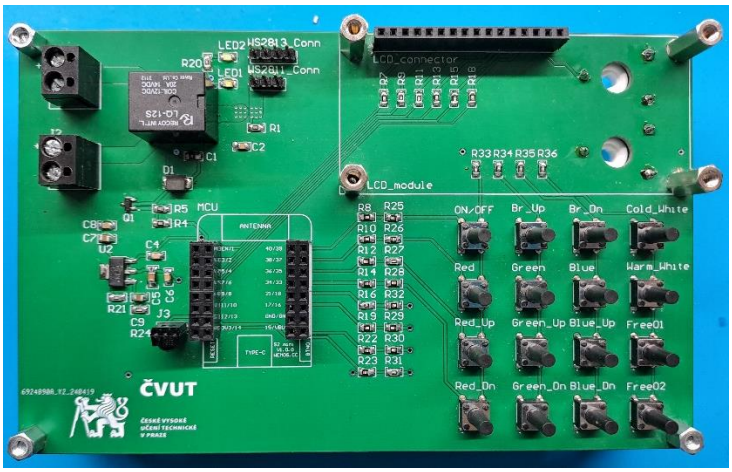
Poslední fyzickou částí celé realizace je osazování a následné zprovoznění DPS. Vzhledem k prototypové povaze celého projektu, a především nízkému počtu součástek, budu tuto desku osazovat ručně[10]. Žádná ze součástek nemá chladící plošky, tudíž mi k osazení postačí hrotová páječka. Při osazování se navíc hodí mít po ruce i kvalitní tavidlo pro snazší uchycení cínu na kovových podložkách DPS a součástkách.

7.1. Osazování DPS

Při osazování součástkami je vhodné postupovat strategicky. Rozvrhnout si zařízení do několika funkčních bloků a každý oživovat postupně. Tím lze předejít možnému zničení dražších součástek. Nejdražšími částmi celého projektu jsou ESP32 a LCD. Zatímco LCD je pro celkovou funkci postradatelný a lze jej připojit až po otestování DPS, ESP32 je hlavním prvkem a nelze jej z testování vyčlenit. Zbylé součástky jsou poměrně snadno k sehnání.

Běžným postupem osazování je nejprve osadit pasivní komponenty. Rezistory a kondenzátory bývají nejmenší a je jich nejvyšší počet. Navíc se, po zaplnění DPS většími prvky, k nim hůře dostává. Dále jdou na řadu aktivní prvky jako jsou diody a tranzistory. Poslední jsou pak pin headery, konektory a jiné THT komponenty. Vše se osazuje dle velikosti od nejmenších po největší.

Výše zmíněný postup je běžnou praxí i v případě osazování pomocí masky a pájecí pasty. Níže je hotová jednotka osazená všemi prvky.



Obrázek 7.1: Řídicí jednotka osazená součástkami

[10] Pro větší DPS se nechávají navíc vyrobit kovové masky. Jsou to v podstatě šablony, přes které se nanáší pájecí pasta. Součástky se poté nanáší všechny naráz a následně zapékají v pecích.

7.2. Testování DPS

Součástky byly objednávány z různých obchodů, a tudíž bylo možné vždy osadit pouze některé části jednotky. Kvůli úspoře času tak probíhalo testování desky současně s osazováním.

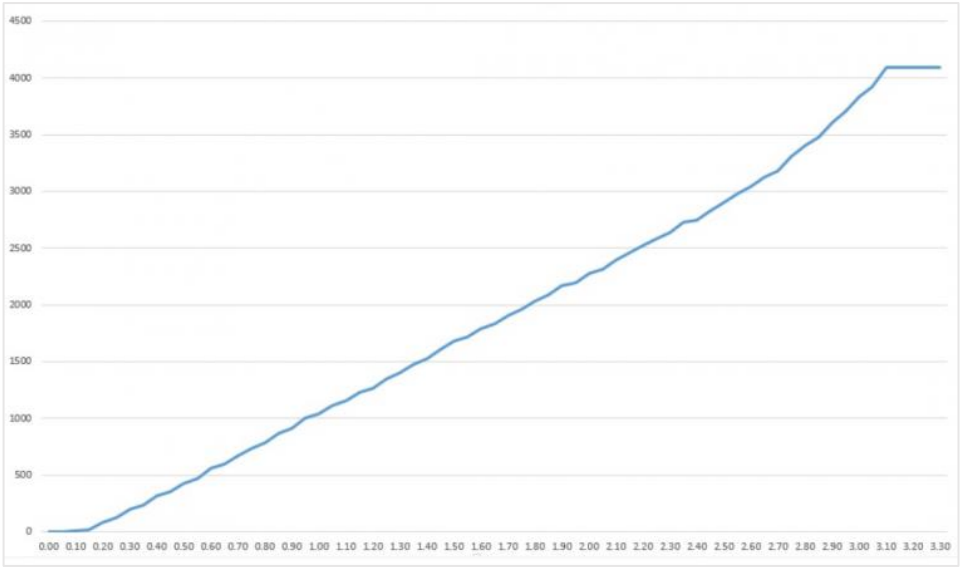
Do jednotky jsou přiváděny dvě napěťové úrovně, které jsou poté rozvedeny do jednotlivých bloků. Proto jsem jako první krok provedl měření napětí těchto bloků. Bloky obsahující napěťový regulátor, infračervený přijímač a LCD modul jsou napájeny pětivoltovým napětím. Proto bylo třeba si ověřit, že se na těchto částech neobjeví 12 V. Naopak relé je napájeno dvanáctivoltovým napětím a při 5 V by nemuselo správně spínat.

V průběhu tohoto počátečního testování jsem narazil na několik nedostatků, kterých jsem se při návrhu dopustil. Zde vyjmenuji pouze ty, které mi přišly poučné a lze si z nich vzít příklad při budoucím návrhu DPS.

První vadou, které jsem si všiml bylo špatné zapojení kondenzátoru C1. Kondenzátor měl být paralelně napojený na napájení a svádět veškerou harmonickou složku signálu do země. Při routingu jsem však špatně nakonfiguroval napojení součástky a kondenzátor zapojil sériově. Pro stejnosměrný signál se kapacita jeví jako rozpojený obvod. Signál tak kondenzátorem neprošel a relé nikdy nesepnulo. Proto jsem kapacitu C1 nahradil rezistorem s nulovým odporem.

Další nepříjemností bylo relé jako takové. Schématický návrh i pouzdro jsem si navrhoval sám podle [15]. V datasheetu mají relé zrcadlově převrácené, a to jak celkovou součástku na obrázku, tak i schéma vnitřního zapojení. Z tohoto důvodu jsem na výstupu měl primárně 12 V místo požadovaných 5 V. To jsem se pokusil řešit softwarově a relé měl konstantně sepnuté, a i přes tuto vadu dále pokračoval v testování. Bohužel při testování programu, konkrétně při jeho nahrávání do ESP32, docházelo k vypínání relé a na výstupu se objevovalo 12 V. To se zprvu nejevilo jako veliký problém, dokud mi to však nezničilo pásek a skrze ten i ESP32. Díky tomu jsem si uvědomil, že je třeba tento problém vyřešit, protože by takto mohlo hrozit nebezpečí jak řídicí jednotce, tak především koncovému uživateli, který by si produkt pořídil. Řešení naštěstí bylo vcelku jednoduché. Relé je typu THT, a tak jej šlo umístit zespodu desky a v podstatě ho převrátit do správné polohy.

Nedostatek zmiňovaný v tomto odstavci bych neoznačil přímo za chybu, ale za přílišnou pečlivost. Jedná se o zapojení proudového senzoru. Ten je schopen měřit ve dvou rozsazích, které jsou určeny napájecím napětím. Při návrhu jsem se snažil dosáhnout co nejširšího rozsahu, proto senzor napájím 5 V. Nicméně jsem přecenil rozlišovací schopnost ESP32, přesněji analog-digitálního převodníku ESP32. Výrobce udává lineární charakteristiku, která však ve skutečnosti není zcela lineární. Je mírně prohnutá (viz Obrázek 7.2), a tím vzniká zkreslení při čtení hodnot. Tento fakt spolu s širokým rozsahem výrazně ztěžuje rozeznávání pásků. Hranice je totiž natolik úzká, že bylo třeba dodat velice přesnou konfiguraci. Dále je třeba brát v potaz, že i když je možné nyní snímat proud až 80 A, DPS ani komponenty nejsou na takovýto proud dimenzovány.



Obrázek 7.2: Závislost bitové hodnoty na napětí analog-digitálního převodníku ESP32 [16]

Poslední úpravou DPS bylo zapojení napěťového regulátoru. Zde jsem se na poslední chvíli rozhodl vyměnit nastavitelný regulátor za fixní. Proto jsem rezistor R21 nezapojil a R24 nahradil rezistorem s nulovým odporem. Jediné zařízení napájené 3,3 V je ESP32, a to má vlastní napěťový regulátor. Tudíž není potřeba dosahovat dokonalé přesnosti napájecího napětí pomocí napěťového děliče.

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly Osazování a testování DPS, tato deska je pouze prototyp. Ze své podstaty tak slouží k hledání a vyhlazování veškerých nedokonalostí, kterých jsem se v průběhu návrhu dopustil. V budoucích návrzích je tedy možné se těmto nedostatkům vyhnout, popřípadě zvolit jiné řešení.

8. Implementace softwaru

V této kapitole se zaměřuji na návrh a implementaci softwaru, který je nutný k ovládání řídicí jednotky pomocí mikrokontroléru. Mikrokontrolér zajišťuje řízení vstupních a výstupních periferií a umožňuje tak efektivní a spolehlivé fungování celého systému.

8.1. Vývojové prostředí

Pro návrh programu jsem se rozhodl využít vývojové prostředí *Arduino IDE*. Jedná se o prostředí určené primárně pro Arduino vývojové desky. Existují však rozšíření právě pro ESP32 desky. Toto prostředí jsem využil především kvůli bohaté zásobě různých knihoven, které mi později výrazně usnadnily programování.

V *Arduino IDE* lze programovat pouze jazykem C++, přesněji řečeno jeho mírně upravenou verzí. Programy pak mají pevně danou strukturu a jsou nazývané *sketche*. Nový *sketch* má předem definované dvě funkce. První je *void setup()*. Tato funkce slouží k počátečnímu nastavení systému. Funkce setup se vždy provede pouze jednou, a to při zapnutí kontroléru. Druhá funkce se nazývá *void loop()*. Jak již z název napovídá, funkce *loop* se opakuje neustále. Zde probíhá kontinuální čtení vstupů a následné ovládání výstupů.

Mimo funkce *loop* a *setup* se zde dají, jako ve standardních kódech, definovat vlastní funkce. Této vlastnosti hojně využívám v celém kódu kvůli přehlednosti a snazšímu hledání chyb (debuggingu).

8.2. Použité knihovny

Než zmíním jednotlivé knihovny programu, považuji za vhodné upřesnit, co to vlastně knihovny jsou a jakou funkci zastávají. Knihovny jsou v podstatě předem napsané a opakovaně použitelné moduly kódu, které slouží k zjednodušení a zrychlení vývoje softwaru. Obsahují funkce, třídy a definice, které jsou určeny ke konkrétnímu vícenásobnému využití. Knihovny mohou zahrnovat jednoduché matematické ale i složité grafické a síťové operace. Při jejich použití vývojáři nemusí znovu implementovat běžné funkce, což zvyšuje efektivitu a přehlednost kódu.

Jak už jsem zmínil, *Arduino IDE* slouží k snadnému programování různých vývojových desek. Z hlediska úpravy kódů, jakými jsou například knihovny, je však nepoužitelné. Proto je třeba k tvorbě vlastních knihoven využít jiné prostředí. V mém případě se jednalo program *Visual Studio Code*, zkráceně VS Code. VS Code je celosvětově rozšířený návrhářský program hojně využívaný programátory. Následující seznam obsahuje použité knihovny spolu s popisem jejich využití a funkcí, pro které byly vybrány.

8.2.1. **Knihovna** Adafruit NeoPixel.h

Adafruit NeoPixel je knihovna vytvořená společností *Adafruit*. Tato společnost má bohatou praxi v oblasti LED osvětlení a lze říci, že je v současnosti největším producentem softwaru pro ovládání LED na světě.

Tuto knihovnu jsem se rozhodl použít k ovládání pásků. Jako jediná totiž umožňuje programování pásků bez nutnosti upřesnění konkrétního typu. Při definování instance třídy *Adafruit_NeoPixel* stačí definovat pouze délku pásku, pin, ke kterému je pásek připojen, a frekvenci, na které ESP s páskem komunikuje. Délka pásku je pevně nastavená na 500 LED s ohledem na maximální možný proud desky viz Proudový odběr. Pro komunikaci je vybrán PWM pin číslo 38 a frekvence 800 kHz je použitelná pro všechny RGB pásky, které jsem zmínil v kapitole **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**. Co se týče funkcí, tak nejdůležitějšími jsou právě funkce pro nastavení barev, j asu a adresování LED.

Jedinou nevýhodou této knihovny je způsob zadávání barev. Konkrétně hodnoty modré a zelené jsou pro pásek WS2813b prohozené oproti pásku WS2811. To však lze řešit softwarově.

8.2.2. **Knihovna** LiquidCrystal.h

Tato knihovna mi umožňuje psát text na displeji stejně snadno jako při psaní textu do sériového monitoru či terminálu. Definovat stačí pouze šest pinů. První dva piny (*reset* a *enable*) slouží k vymazání a povolení zapisování do registru modulu. Zbylé piny umožňují definování znaků a navádění kurzoru pro jejich zápis.

8.2.3. **Knihovna** IRremote.h

Knihovna *IRremote* umožňuje dekódování signálu z infračerveného přijímače. Díky jejím funkcím jsem schopen využít prakticky jakýkoli dálkový ovladač a pouze si přiřadit hodnoty odpovídající stiskům jednotlivých tlačítek.

Nevýhodou podobných knihoven je, že nelze rozeznat konkrétní ovladače. Tím myslím, že pokud dva na sobě nezávislé ovladače budou vysílat totožný kód, neexistuje v této knihovně způsob, jak dané ovladače od sebe odlišit. Může tak nastat situace, kdy ovládané zařízení, v mém případě řídicí jednotka, reaguje na cizí signály.

8.2.4. **Knihovna** CostumeKeypad.h

Pro vyhodnocování tlačítek existuje celá řada veřejně dostupných knihoven. Žádná z nich mi však vzhledem k mému zapojení klávesnice nevyhovovala. Z toho důvodu jsem se rozhodl vytvořit vlastní knihovnu. Princip vyhodnocování je popsán v kapitole Maticová klávesnice 4x4, tudíž jej zde nebudu rozepisovat. Knihovna obsahuje pouze jednu návratovou funkci a tou je *int getKey()*. Která vrací číselnou hodnotu stisknutého tlačítka.

Při definici klávesnice jsem si definoval číselné 2D pole obsahující čísla totožná s čísly dálkového ovladače. Program pak reaguje na stejné hodnoty nezávisle na ovládání.

8.3. Firmware pro mikrokontrolér

Výsledný program pak vypadá následovně. Po prvotní inicializaci je třeba vyčítat vstupy a v závislosti na nich ovládat výstupy.

Základní částí programu je počáteční rozlišení pásku. Pří stisku ON/OFF tlačítka se vždy nejprve rozsvítí definovaný počet LED. To vyvolá předem změřený proud procházející proudovým senzorem a tomu odpovídá hodnota napětí naměřená na analogovém výstupu. Je-li proud při 5 V příliš nízký, kód situaci vyhodnotí jako špatné výstupní napětí a sepne relé. V tu chvíli se na výstup dostane 12 V a postup se opakuje. Je-li stále proud nízký, obvod to vyhodnotí jako nepřipojený či vadný pásek a tuto zprávu vypíše na displej.

Počáteční inicializace se provede při každém spuštění. Díky tomu se zabrání zničení nového pásku a uživatel má navíc i zpětnou vazbu o stavu řídicí jednotky.

Ačkoli je řídicí jednotka schopna vyhodnotit druh pásku, bohužel nelze přesně určit délku pásku. V předešlé kapitole jsem zmiňoval nedokonalost ADC a toto je jejím důsledkem. Rozlišovací schopnost převodníku zkrátka není natolik přesná, aby bylo možné určit rozdíl alespoň desítek LED. O to náročnější bylo nakonfigurovat počáteční inicializaci. Proto je nejkratší délka pásku 30 LED.

Ovládání pásků pak funguje totožně jako u jiných jednotek. Mikrokontrolér přečte hodnotu stisknutého tlačítka bez ohledu na původ tlačítka, myšleno zda-li se tlačítko nachází na ovladači či klávesnici. Získaná hodnota se následně vyhodnotí a nastaví pásek do požadované barvy. Na displeji je kontinuálně vypisován přesný stav pásků spolu s číselnými hodnotami RGB i jasu.

9. Závěr

Zadání této bakalářské práce bylo splněno ve všech bodech. Cílem práce byl návrh a realizace řídicí jednotky pro ovládání LED pásků. Jednotka měla být variabilní z hlediska fyzické délky pásku, počtu ovládaných LED i napájecího napětí. Dalšími požadavky bylo uživatelsky přívětivé lokální i dálkové ovládání.

V úvodu práce byl proveden průzkum trhu. Nastínil jsem důležité vlastnosti dostupných produktů a porovnal je z pohledu ceny a typických parametrů. Na základě tohoto porovnání jsem vybral dva konkrétní zástupce WS2811 a WS2813b, kteří společně pokrývají celé spektrum zadání. Poté následoval výběr vhodných komponent, které by umožňovaly realizaci jednotky.

Hlavní částí celé práce byl návrh schématu a desky plošných spojů. Klíčovým prvkem řídicí jednotky byla automatická změna napájecího napětí, a především snímání proudového odběru připojeného LED pásku. Po zhotovení DPS nastala fáze osazování a testování jednotky. Zde se doladily vady a chyby vzniklé během návrhu a odzkoušela se funkce desky.

V konečné fázi byl naprogramován a nakonfigurován firmware celého zařízení. Hotová řídicí jednotka byla nakonec podrobena zatěžkávací zkoušce na pásku WS2811 dlouhém 15 m s celkovým osazením čítajícím téměř 900 LED a obstála. Funkční jednotku lze vidět na obrázcích v přílohách D až G.

V budoucích návrzích se zaměřím na vylepšení jednotky, a především zmenšení jejích rozměrů. Rád bych se pokusil navrhnout jiné typy konektorů pásků, jelikož konektory, se kterými pásky přichází, nejsou uzpůsobeny vysokým proudům. Také bych přidal externí ADC pro přesnější měření proudu, napojil proudový senzor na 3,3 V a vyměnil přívodní konektory za zacvakávací místo nynějších, šroubovacích. Jako další bych vyměnil displej za větší a změnil jeho napájení, aby bylo možné nastavit „sleep mode“. Použitý LCD je sice dostatečný, ale rád bych docílil vyššího uživatelského komfortu. Na závěr bych přidal více ochranných prvků jako jsou ochrana mikrokontroléru, ochrana proti prohození přívodů napětí, ochrana proti přepětí a podobně.

Použitá literatura

[1] Non-Addressable RGB LED Strip Hookup Guide. In: *Sparkfun* [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: https://learn.sparkfun.com/tutorials/non-addressable-rgb-led-strip-hookup-guide/hard

[2] *Datasheet 5050 SMD LED* [online]. In: NATIONSTAR. 2024, 1994-2024 [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: https://www.nationstar.com/Uploads/download/20160216094424.pdf

[3] LED Pixel Protocol WS2813. In: *Www.advateklighting.com* [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: https://www.advateklighting.com/pixel-protocols/ws2813

[4] Daisy-Chaining SPI Devices. In: *Analog* [online]. 2006 [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/daisychaining-spi-devices.html

[5] Datasheet APA102-2020. In: *Grabcad.com* [online]. 2020 [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: https://grabcad.com/library/apa102-2020-rgb-spi-version-1

[6] Datasheet LCD1602. In: *Components101* [online]. 2021 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://components101.com/displays/16x2-lcd-pinout-datasheet

[7] FRADEN, Jacob. *Handbook of Modern Sensors*. Fourth Edition. Springer ScienceþBusiness Media, 2010. ISBN 978-1-4419-6465-6.

[8] IR communication. In: *Elprocus* [online]. [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://www.elprocus.com/communication-using-infrared-technology/

[9] Datasheet ESP32 S2. In: *Espressif* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf

[10] *Datasheet 5050 SMD LED*. 2024.

[11] Datasheet Current sensor. In: TEXAS INSTRUMENTS. *Texas Instruments* [online]. 2023 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmcs1108-q1.pdf?ts=1714851276754

[12] Datasheet LM1117MPX-3.3/NOPB. In: *Texas Instruments* [online]. 2000 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf?ts=1714838024782

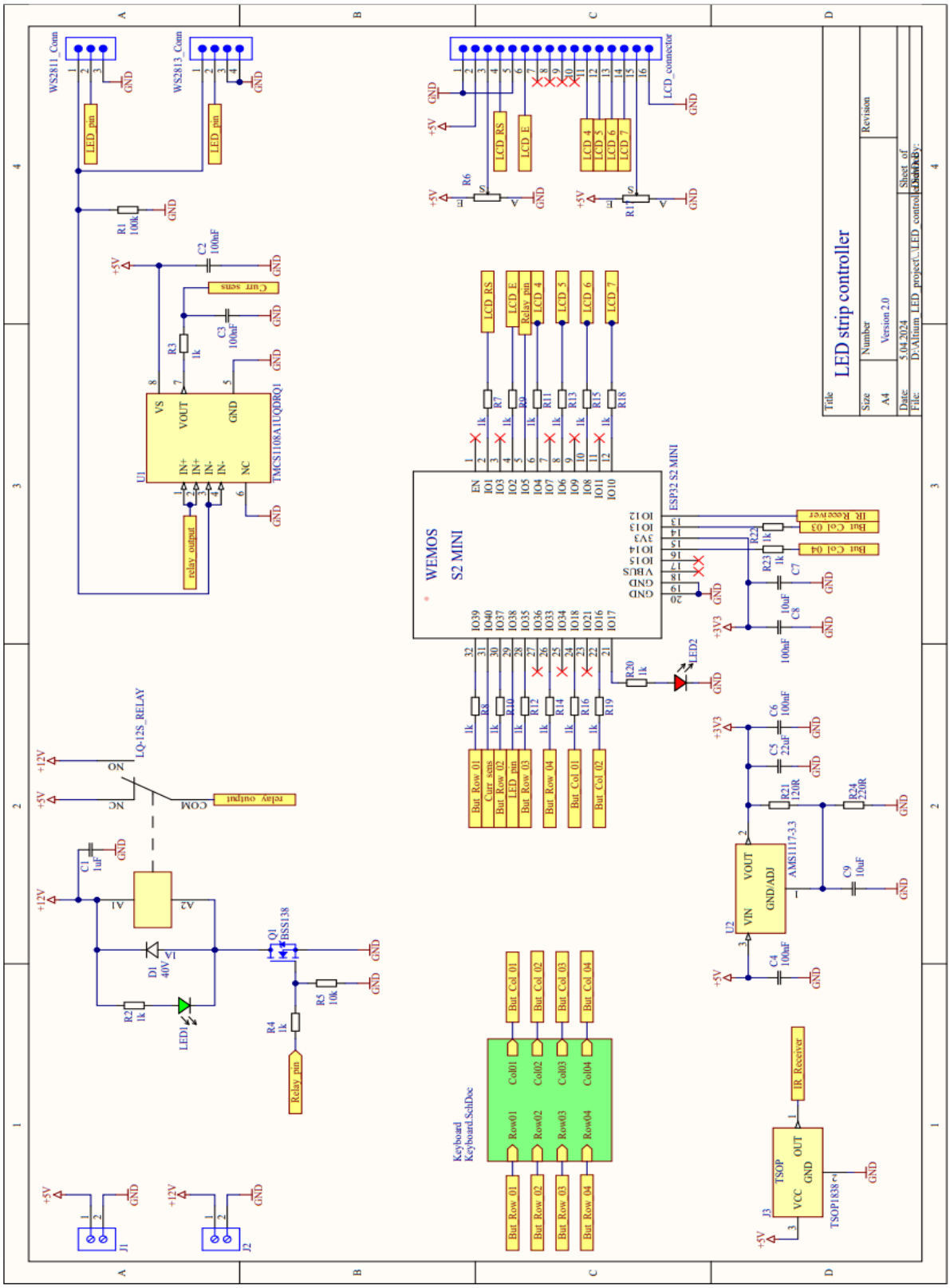
[13] Datasheet TSOP4838. In: *Vishay* [online]. 2022 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://www.vishay.com/docs/82459/tsop48.pdf

[14] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*. Nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03351-1.

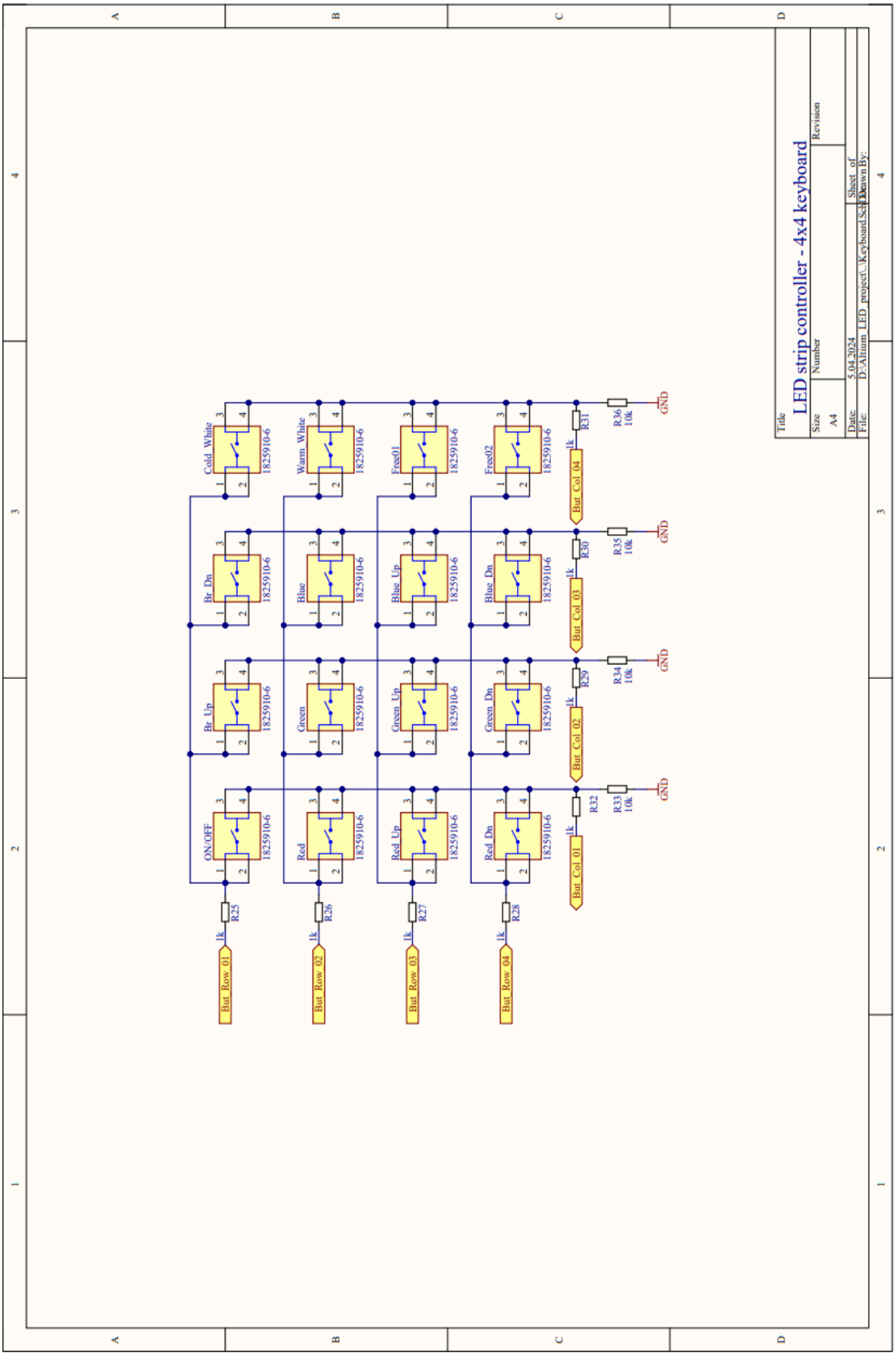
[15] Datasheet LQ-12S. In: *TME* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/dddcc1566bc49d3a9a5939c0f7e16b74/LQ_SERIES.pdf

[16] ESP32 rozlišení ADC. In: *Randomnerdtutorials* [online]. 2019 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: https://randomnerdtutorials.com/esp32-adc-analog-read-arduino-ide/

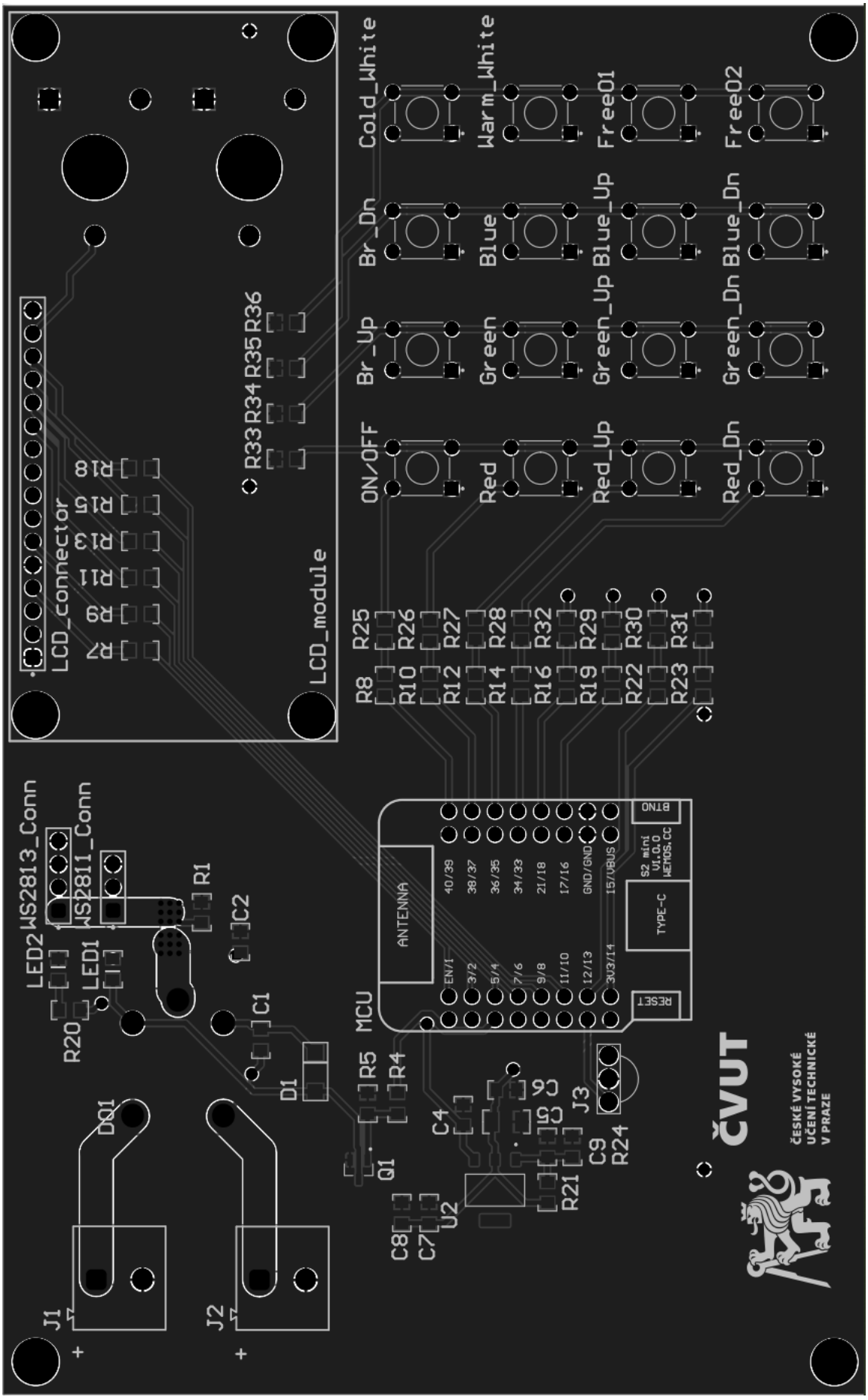
Přílohy: Schémata, DPS



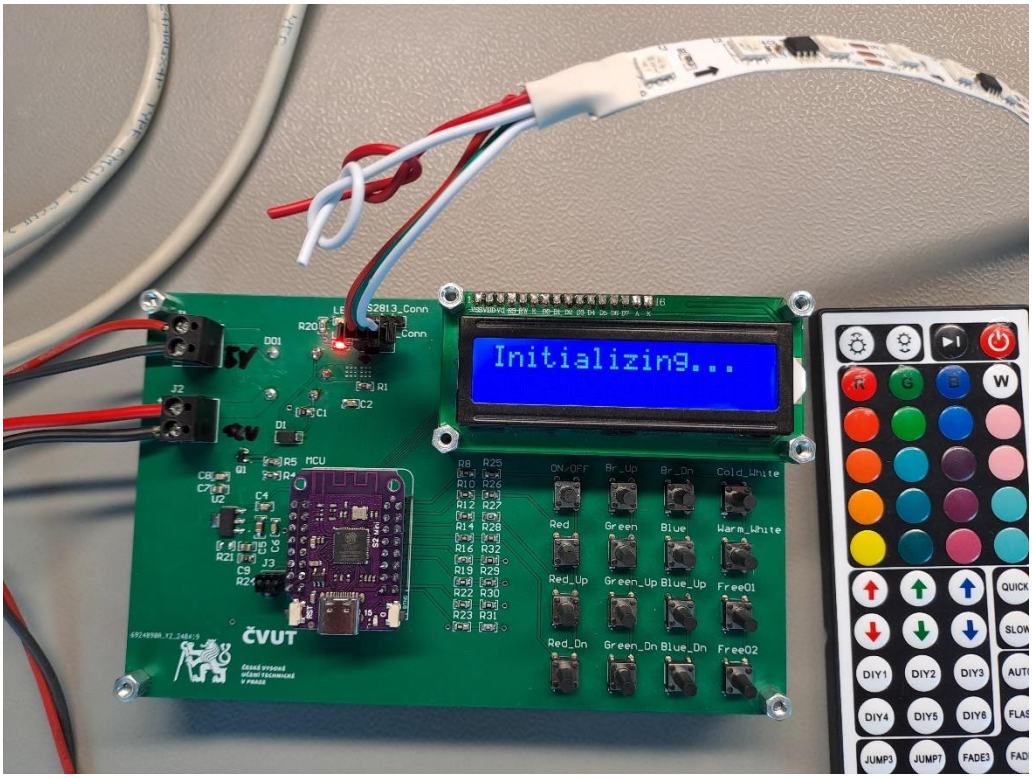
Příloha A: Schéma jednotky



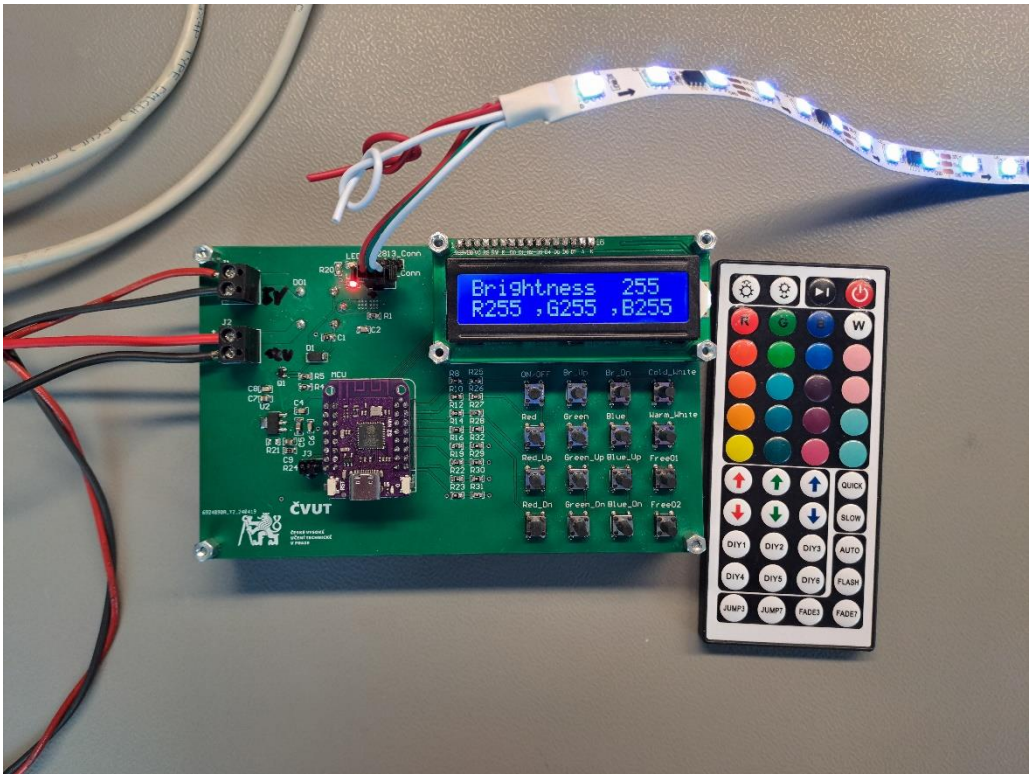
Příloha B: Schéma tlačítkové klávesnice



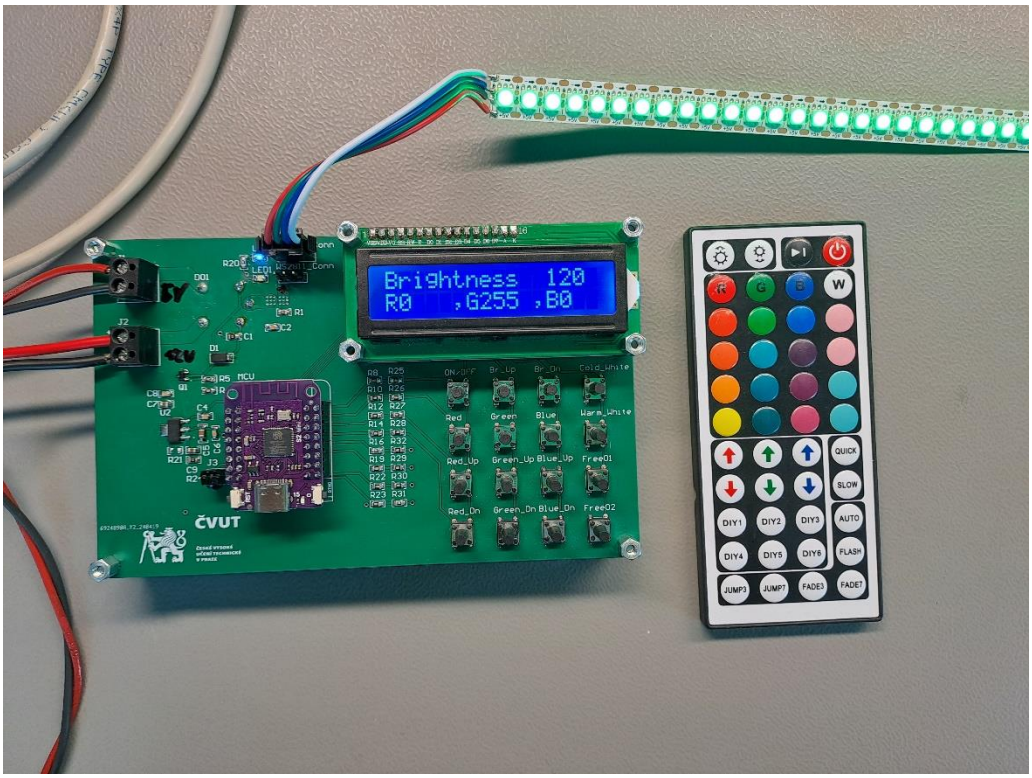
Příloha C: DPS řídicí jednotky



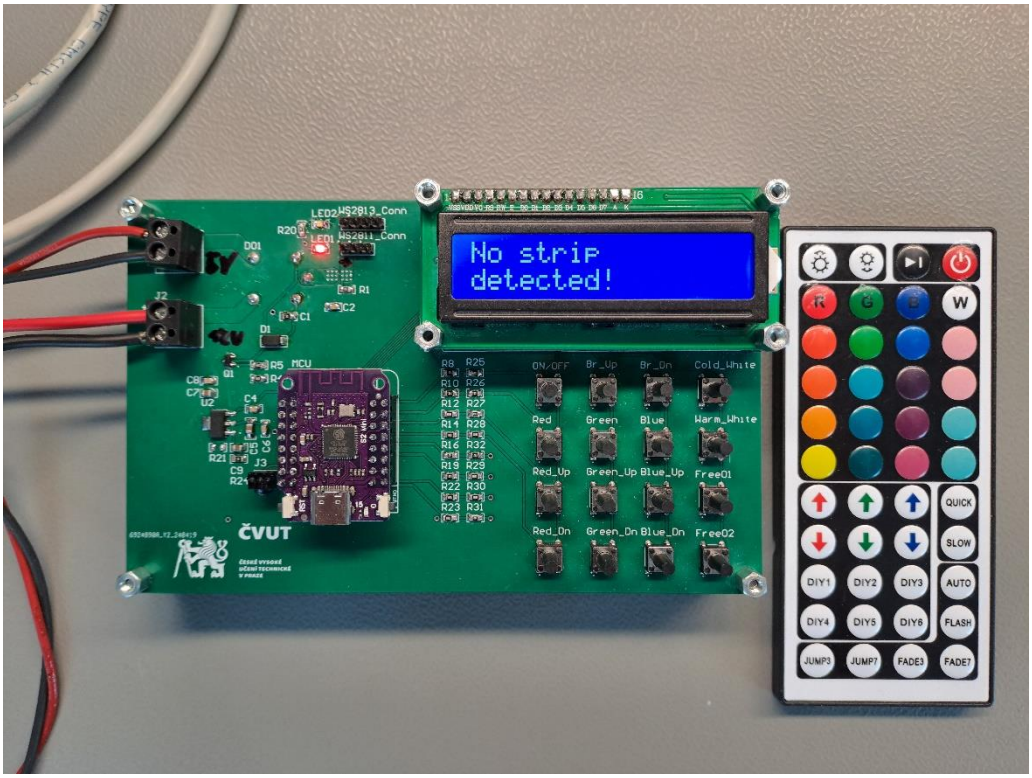
Příloha D: Počáteční inicializace řídicí jednotky po stisknutí ON/OFF



Příloha E: Rozsvícený WS2811 LED pásek



Příloha F: Rozsvícený WS2813b LED pásek



Příloha G: Nebyl detekován žádný pásek