

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE





# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## INTELIGENTNÍ LED SVĚTLO

INTELLIGENT LED LIGHT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Krejčí

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

BRNO 2021





# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

**Student:** Bc. Martin Krejčí

**ID:** 195369

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2020/21

**NÁZEV TÉMATU:**

## Inteligentní LED světlo

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci inteligentního LED osvětlení s možností míchání barev RGB/CW/WW. Zařízení bude integrovat senzory (pohyb, kouř, teplota apod.) a vhodným způsobem komunikovat s ostatními jednotkami a bránou, příp. centrální řídicí jednotkou, dostupnou přes (W)LAN. Uvažujte možnost napájení z ostrovního solárního systému. Demonstrujte základní funkci komunikace a řízení LED na vývojových kitech.

Systém doplňte o vhodné dálkové ovládání a vypínače. Navrhněte a sestrojte prototypy jednotlivých částí, naprogramujte firmware do řídicích mikrokontrolérů. Celý systém oživte a změřte jeho parametry, zejm. spolehlivost komunikace, proudový odběr a účinnost jednotlivých bloků. Zpracujte podrobnou dokumentaci.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GOODWIN, Steven. Smart Home Automation with Linux and Raspberry Pi. New York: Apress, 2013.

[2] FRÝZA, Tomáš. Mikroprocesorová technika. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008.

**Termín zadání:** 8.2.2021

**Termín odevzdání:** 27.5.2021

**Vedoucí práce:** Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

**prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.



## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je navrhnout a realizovat prototyp inteligentního LED osvětlení s možností míchání barev studené bílé, teplé bílé, červené, zelené a modré barvy. Vytvořit komunikaci, ovládací jednotky včetně W(LAN) jednotky, která bude umožňovat komunikaci mimo tuto uzavřenou sběrnici. V práci je prvně popsáno světlo a jeho historie. Návrh samotného zařízení se skládá z 3D modelu prototypu LED osvětlení zabudovaného ve stropě a následného výběru konkrétních použitých obvodů. Při návrhu bylo dbáno na nedostatky dnešních chytrých elektroinstalací. V závěru práce je popsána problematika ruční osazení desek plošných spojů a výsledky měření navržených LED budičů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

STM32, embedded, smart, LED, light, RGB+CCT, RGB

## **ABSTRACT**

The aim of the bachelor thesis is to design and implement a prototype of intelligent LED lighting with the possibility of mixing cold white, warm white, red, green and blue colours. To create communication, control units including a W(LAN) unit that will allow communication outside this closed bus. This thesis is the first to describe light and its history. The design of the device itself consists of a 3D model of a prototype LED light embedded in the ceiling, followed by the selection of the specific circuits used. In the design, the shortcomings of today's smart wiring systems were taken into account. The thesis concludes with a description of the hand-fitting of the circuit boards and the measurement results of the designed LED exciters.

## **KEYWORDS**

STM32, embedded, inteligentní, LED, světlo, RGB+CCT, RGB



KREJČÍ, Martin. *Inteligentní LED světlo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2021, 60 s. Bachelářská práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Povalač, Ph.D.



## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Martin Krejčí  
**VUT ID autora:** 195369  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2020/21  
**Téma závěrečné práce:** Inteligentní LED světlo

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.





## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Aleši Povalači, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.



# Obsah

Úvod	19
<b>1 Světlo</b>	<b>21</b>
1.1 Historie světelných zdrojů	22
1.2 LED	23
<b>2 komunikace</b>	<b>25</b>
2.1 I2C	26
2.2 SPI	27
2.3 CAN	28
<b>3 Koncept návrhu</b>	<b>29</b>
3.1 Ekologie	31
3.2 Napájení a zálohovatelnost	32
3.2.1 Napájení sptřebičů do stovek watů	32
3.2.2 Napájení sptřebičů do desítek watů	33
3.2.3 Zálohování	34
3.3 Bezpečnost	36
3.4 Spolehlivost	36
3.5 Požadavky	36
<b>4 Hardware</b>	<b>39</b>
4.1 Budič LED	39
4.2 Mikrokontrolér	41
<b>5 Software</b>	<b>43</b>
<b>6 Osazení a oživení hardwaru</b>	<b>45</b>
6.1 Měření	46
Závěr	47
Literatura	49
Seznam symbolů a zkratk	53
<b>7 Přílohy</b>	<b>55</b>



# Seznam obrázků

1.1	Spektrum elektromagnetických vln . . . . .	21
1.2	Rozložení barev světla podle příslušné vlnové délky . . . . .	22
2.1	Zapojení sběrnice I2C . . . . .	26
2.2	Komunikace sběrnice I2C . . . . .	27
2.3	Zapojení sběrnice SPI . . . . .	28
2.4	Komunikace na sběrnici SPI . . . . .	28
3.1	3D model konceptu světla . . . . .	30
3.2	3D detail konceptu světla . . . . .	30
3.3	3D model konceptu zabudovaného světla . . . . .	31
3.4	Vybíjecí charakteristika akumulátoru Li-ion . . . . .	34
4.1	Blokový diagram zapojení instalace . . . . .	39
4.2	VA charakteristika LED . . . . .	40
6.1	Nerezová šablona pro ruční osazování . . . . .	45
7.1	Schéma zapojení budiče AL9902 . . . . .	55
7.2	TOP vrstva budiče AL9902 . . . . .	55
7.3	BOTTOM vrstva budiče AL9902 . . . . .	56
7.4	TOP osazovací plán budiče AL990 . . . . .	56
7.5	BOTTOM osazovací plán budiče AL990 . . . . .	56
7.6	Schéma zapojení budiče LM3409 . . . . .	57
7.7	TOP vrstva budiče LM3409 . . . . .	57
7.8	BOTTOM vrstva budiče LM3409 . . . . .	58
7.9	TOP osazovací plán budiče LM3409 . . . . .	58
7.10	BOTTOM osazovací plán LM3409 . . . . .	58
7.11	Schéma zapojení LED desky . . . . .	59
7.12	TOP vrstva LED desky . . . . .	59
7.13	TOP osazovací plán LED desky . . . . .	60



## Seznam tabulek

3.1	Výpočet úbytků napětí na vedení . . . . .	33
6.1	Změřené parametry budičů LM3409 . . . . .	46
6.2	Změřené parametry budičů AL9902 a lineárního . . . . .	46





# Úvod

V poslední době se stále rozšiřuje trend chytrých elektroinstalací a využívání sluneční energie na výrobu dodatečné elektrické energie za pomoci fotovoltaických panelů nebo přímo domů s ostrvním systémem elektrické energie, které nejsou připojené na žádnou jinou elektrickou síť a musí tak touto energií šetřit.

Velká škála vynálezů lidstva vznikla hlavně právě díky naší lenosti a pro ušetření našeho času, který tak můžeme využít jinak a efektivněji. Tyto inteligentní elektroinstalace nám ještě více usnadňují ovládání domácnosti a to i vzdáleně z celého světa. Kromě různých vymožeností je možné, aby nám tato elektroinstalace ochránila náš majetek, sama zavolala policii nebo hasiče v případě požáru. Inteligentních elektroinstalací je dnes celá řada a to v drátové i bezdrátové podobě, ale všechny tyto systémy mají mnoho nevýhod a především jsou vytvořeny pouze jednoúčelově na řízení nebo řešení pouze vybraných problémů. Není možné rošířit prvky o další snímače, ale je nutné pořídit rovnou celé zařízení.

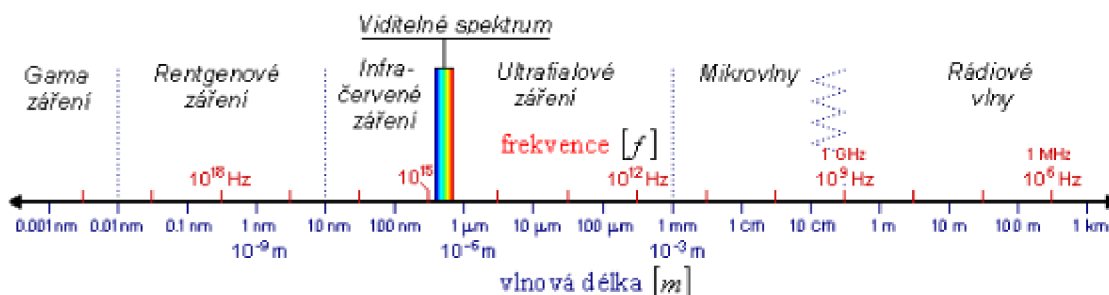
Úkolem této bakalářské práce je navrhnout koncept inteligentního LED osvětlení s možností míchání barev RGB/CW/WW schopného komunikovat se senzory a dalšími ostatními jednotkami včetně (W)LAN jednotky a připravit systém pro moderní domácnosti, kde se využívá sluneční energie pro výrobu elektrické energie.



# 1 Světlo

Světlo je nepostradatelnou součástí našeho života. Bez světla by neexistovala žádná civilizace, ani žádný život na planetě. Světlo bylo poprvé fyzikálně vysvětleno v 17. století významným nizozemským fyzikem, matematikem, astronomem a horologem Christiaanem Huygens. Huygens uvažoval o myšlence, že světlo je tvořeno vlněním, která byla klíčová pro pochopení duality částice a vlnění. Dnes je to označováno jako Huygensův princip. V té době uznávaný fyzik a matematik Isaac Newton považoval světlo za tok částic a jeho teorie se považovala za správnou. Teprve až v 19. století se vše změnilo, když Anglický fyzik James Clerk Maxwell označil světlo jako druh elektromagnetického vlnění, kde vycházel ze své teorie elektromagnetického pole.[12, 14, 13, 15, 16, 17, 18]

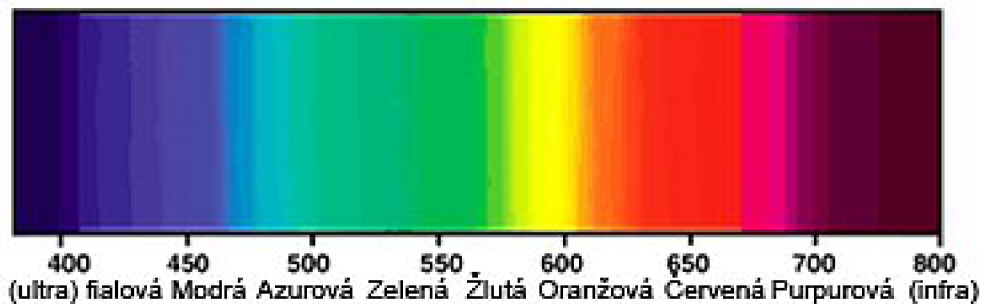
Světlo je elektromagnetické záření v části elektromagnetického spektra, které může být vnímáno pomocí lidského oka. Elektromagnetické záření se skládá z gama záření, rentgenového záření, ultrafialového záření, viditelného spektra, infračerveného záření, mikrovlnných vln a rádiových vln. Světlo, které vidíme, je tedy malá část elektromagnetického záření v rozsahu viditelného spektra (390 - 760 nm). Ovšem každý člověk má jinak vyvinutý zrak a tak může vidět více nebo méně. Některé druhy živočichů vnímají zcela jiný rozsah např. plazi vnímají infračervené záření nebo včely zase ultrafialové záření. [15, 16, 17, 18]



Obr. 1.1: Spektrum elektromagnetických vln [15].

Každá vlnová délka světla vyvolá u člověka zrakový vjem, který je charakteristický svou barvou světla. Na obrázku Obr. 1.2 můžeme vidět, že nejkratší vlnovou délku má fialová barva a naopak nejdelší vlnovou délku má červená barva. Naše oko je nejcitlivější na světlo uprostřed viditelného spektra, kde je žlutozelená barva o vlnové délce přibližně 550 nm. [15]

## VIDITELNÉ SPEKTRUM - vlnová délka v nm



Obr. 1.2: Rozložení barev světla podle příslušné vlnové délky [19].

### 1.1 Historie světelných zdrojů

Od počátku vzniku planety Země bylo Slunce historicky prvním zdrojem světla. Bohužel světlo máme na Zemi podle pravidelného denního a ročního cyklu a tak světlo vždy vnímáme po omezenou denní dobu. V létě více a v zimě zase méně. V noci v omezené míře máme světlo z Měsíce, od kterého se k nám odráží světlo ze sluníčka, a v podobě svítících hvězd. My jako savci nemáme dostatečně dobře vyvinutou adaptaci oka na intenzitu světla, abychom viděli dobře i bez světla nebo za snížených světelných podmínek, jak to mají některé živočichové, jako např. Sovy, které dokázaly odhalit přítomnost myši na ploše velké jako stadion osvětlené pouhou jedinou svíčkou [20].

Druhým zdrojem byl oheň, který se postupně začal využívat v podobě loučí, olejových lamp nebo svíček. Později se začaly používat petrolejky a lampy na zemní plyn, které už dokázaly ozářit celé ulice. U všech těchto prvků byl zdrojem plamen, který se musel manuálně zapalovat.

V roce 1802 chemik a experimentátor Humphry Davy experimentoval se žhavením materiálu pomocí průchodu elektrického proudu. Ze dvou tenkých proužků platiny sestrojil zařízení, které pomocí elektrického proudu rozžhavlil do běla a dokázal tak na krátkou chvíli vytvořit slabý zdroj světla. Vynález se sice neujal, ale na tento objev se pokusila navázat více než dvacítka vynálezců z celého světa. Bohužel nikdo z nich nenašel účinný a finančně dostupný způsob, jak tento objev využít pro osvětlení.[21]

První žárovku vynalezl vynálezce a podnikatel Thomas Alva Edison. V říjnu roku 1879 poprvé rozsvítil svou žárovku se závitem, kterou si následně nechal patentovat, a započala tím éra světelných zdrojů, které používají ke své funkci elektrickou energii. Tento Edisonův závit používáme dodnes u žárovek. Nese označení E, za ním

je dvojice čísel, která udává průměr v milimetrech.[23] Standardizované závity u nás[22]:

- E5,5
  - kontrolky a modelářství
- E10
  - ruční svítílny
- E14
  - malá svítidla na síťové napětí
- E27
  - svítidla na síťové napětí
- E33
  - hlavice keramických pojistek
- E40
  - výbojky s většími výkony

## 1.2 LED

Postupným zdokonalováním žárovky byly vynalezeny světelné zdroje jako rtuťové a sodíkové výbojky, úsporné žárovky, zářivky a také luminiscenční diody. Fyzik a Vynálezce Henrym Josephem objevil elektroluminiscenci v roce 1907. Při objevu zjistil, že určité anorganické látky vydávají viditelné světlo po přiložení napětí, ale až v roce 1962 vyvinul vědec Nick Holonyak Jr. první červenou LED, která slabě svítila a začala se používat do kalkulaček značky HP. PN přechod obsahoval prvky Galia, Arsenu a Fosforu. O několik let později se začaly vyrábět různobarevné LED jako oranžová, zelená nebo žlutá. V roce 1993 vyvinul profesor Shuji Nakamura jasně svítící modrou LED a poté také bílou. [1]



## 2 komunikace

Dnes je komunikace již standardem většiny elektronických zařízení. Dokonce dnes využívají komunikaci i USB nabíječky podporující nějaký protokol pro rychlé nabíjení, které se označují např. Quick Charge společností Qualcomm. To funguje tak, že standardně je na USB zásuvce napětí 5 V a pokud nabíječka i nabíjené zařízení podporují nějaký typ rychlého nabíjení, tak se přes komunikaci po USB kabelu dohodnou na několikanásobném zvýšení napětí, což umožňuje přes ten stejný USB kabel přenést mnohem větší výkon s menšími ztráty na vedení.

Pro komunikaci se používají tzv. sběrnice, což je soustava signálových vodičů, která zajišťuje přenos dat a instrukcí. Každý přenos dat ve sběrnici se musí řídit určitým protokolem, aby zařízení správně rozpoznala data. Zařízení na sběrnici se označují podle plnicí funkce jako:

- MASTER - řídí celý provoz na sběrnici
- SLAVE - podřízené zařízení, které naslouchá na sběrnici

sběrnice většinou podporují pouze jedno MASTER zařízení a více SLAVE zařízení, ale některé jsou typu multi-master. Díky tomu může být na lince více řídicích zařízení a každý z nich může řídit komunikaci a např. při poruše jednoho MASTER zařízení může převzít komunikaci jiný. To zvyšuje spolehlivost obvodu.

Sběrnice můžeme rozdělit podle [2]:

1. provozu
  - (a) asynchronní - využívá většina sběrnic. Vysílač může posílat data v libovolném okamžiku.
  - (b) synchronní - přenos je řízen (synchronizován) hodinovým pulzem. Data jsou posílána ve skupinách, skupiny jsou od sebe odděleny synchronizačními symboly.
2. uspořádání
  - (a) sériové - přenáší se bit po bitu, pomalejší přenos
  - (b) paralelní - přenáší se více bitů paralelně, rychlejší přenos
  - (c) sériovoparalelní - kombinace přechozích dvou, mnohem rychlejší přenos
3. směru přenosu
  - (a) jednosměrné - data jsou přenášeny jedním směrem
  - (b) obousměrné - data jsou přenášeny oběma směry
  - (c) polovodičové paměti – ROM, RAM, atd.
  - (d) třístavové obvody – stavy 1, 0, odpojen, dvoustavové obvody – 1, 0
4. funkce
  - (a) datové
  - (b) adresové
  - (c) řídicí

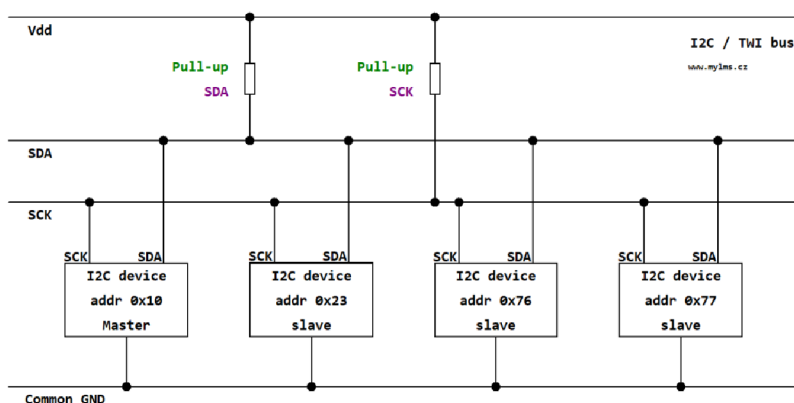
## 2.1 I2C

Sériová sběrnice I2C (Inter-Integrated Circuit) byly vyvinuta firmou Philips Semiconductor. Také ji můžeme nalézt pod názvem TWI (Two-wire Serial Interface), který je od firmy Atmel (od roku 2016 Microchip) namísto chráněné značky I2C [3]. Pracuje v režimu half-duplex (režim střídavé komunikace), komunikace je obousměrná, avšak vždy v jeden okamžik se můžou buď odesílat, nebo přijímat data. Přenos dat je tedy pomalejší, ale velmi často se používá. Každé zařízení má svou jedinečnou adresu, která je nejčastěji 7-bitová, ale také může být 8-bitová nebo 10-bitová. Adresa SLAVE zařízení je většinou pevně nastavena, ale některé integrované obvody mají možnost výběru mezi předdefinovanými adresami nebo je adresa plně nastavitelná. Počet připojených zařízení je limitováno celkovou kapacitou sběrnice asi 400 pF nebo 10-bitovou adresou ( $2^{10} = 1024$ ) zařízení. Přenosová rychlost sběrnice je 100kHz, ale pro některé aplikace je možné tuto frekvenci zvýšit na 400kHz nebo až na 1MHz. Maximální frekvence je ovlivněna nejpomalejším zařízením na lince. [5, 4] Nejčastěji se používá v zapojení s jedním MASTER a více SLAVE zařízeními, ale také může být typu multi-master.

Komunikace probíhá pomocí dvou vodičů:

- SDA - datový signál (Synchronous Data)
- SCL - hodinový signál, generuje MASTER (Synchronous Clock)

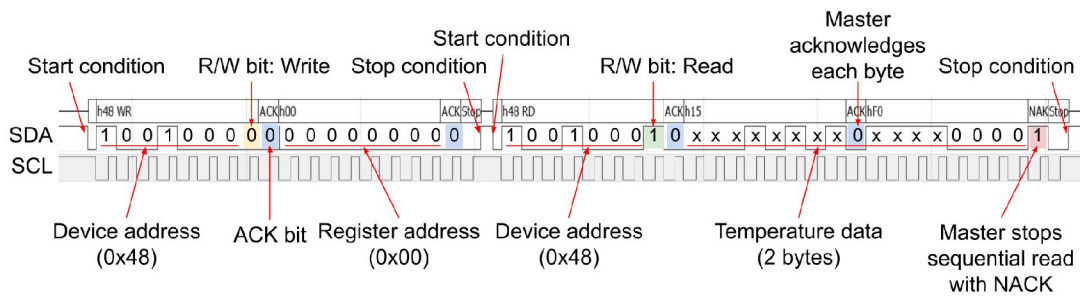
Pro správnou funkčnost je zapotřebí zajistit, aby oba signály byly ve vysoké úrovni, čehož se dosahuje pomocí dvou pull-up rezistorů o hodnotě 4K7 pro 3,3 V úrovně napětí. Konstrukce vnitřních obvodů spínají signál na nízkou úroveň.



Obr. 2.1: Zapojení sběrnice I2C [6].



Komunikační protokol definuje dvojí typ rámců - adresní a datové. komunikace je zahájena startovacím bitem (Start Condition), následuje adresa zařízení a R/W bit, který definuje, zda chce MASTER zápis nebo čtení dat (1 - čtení, 0 - zápis) . Hned poté odpovídá zařízení, zda rozpoznalo svou adresu ACK bit (0 - rozpoznalo, 1 - nerozpoznalo). V případě nepřihlášení žádného zařízení máster ukončí komunikaci, jinak následuje adresa řízeného registru a ukončení komunikace. Komunikace se znovu zahájí se stejným postupem, avšak tentokrát se místo adresy řízeného zařízení čtou nebo zapisují data. [4]. Komunikaci můžeme vidět na obrázku Obr. 2.2.



Obr. 2.2: Komunikace sběrnice I2C [7].

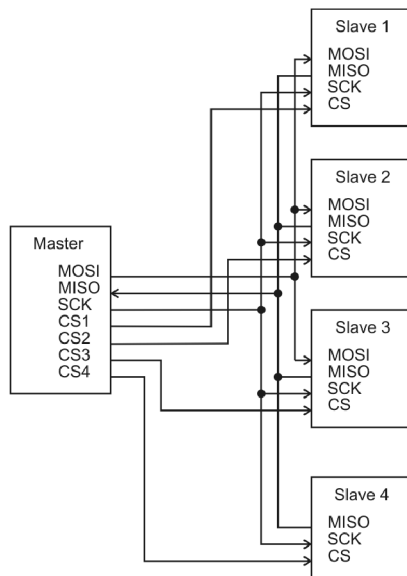
## 2.2 SPI

Je sériová duplexní sběrnice, ve které se nachází pouze jeden MASTER a více SLAVE zařízení. Díky vícevodičovému (paralelnímu) přenosu je přenos rychlejší. Této komunikace se používá např. u programování mikrokontroléru, který je zapojen jako SLAVE a programátor MASTER programuje.

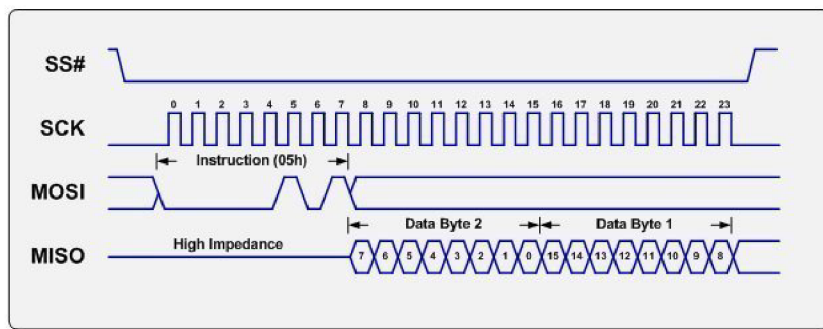
- SCK - hodinový synchronizační signál, který generuje MASTER
- MOSI - MASTER vysílá, slave přijímá (Master Out Slave In)
- MISO - MASTER přijímá, SLAVE vysílá (Master In Slave Out)
- SS - výběr SLAVE modulu (Slave Select)

Každé SLAVE zařízení musí mít svůj SS signál. Schéma zapojení je na obrázku 2.3.

Komunikace se zahájí výběrem vhodného SLAVE zařízení prostřednictvím SS signálu, připraví se data a společně s hodinovým signálem se odešlou. Po odeslání posledního bytu se zastaví hodinový signál a odpojí se SLAVE zařízení. [4] Celou komunikaci můžeme vidět na obrázku Obr. 2.4.



Obr. 2.3: Zapojení sběrnice SPI [8].



Obr. 2.4: Komunikace na sběrnici SPI [9].

## 2.3 CAN

CAN (Controller Area Network) je sériový komunikační protokol vyvinutý firmou Robert Bosch GmbH původně pouze pro automobilový průmysl. Dnes už je běžným průmyslovým standardem díky nízké ceně, snadnému nasazení a vysoké přenosové rychlosti až 1Mb/s. Je definován normou ISO 11898. využívá se pro řízení systémů v reálném čase s vysokou mírou zabezpečení proti chybám. [31]

### 3 Koncept návrhu

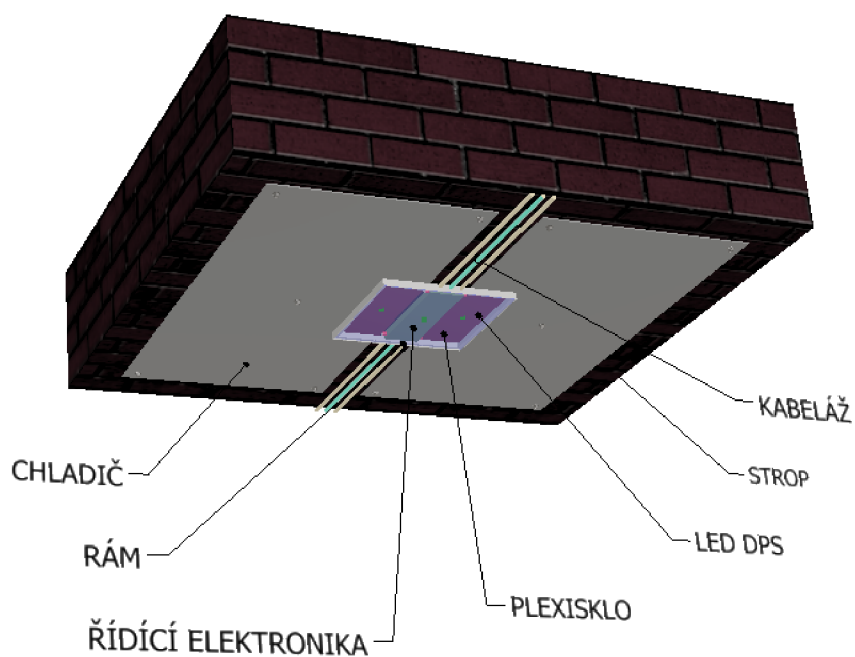
Když jsem si sestavil toto zadání bakalářské práce, tak jsem přesně věděl co a proč bych tak chtěl, ale postupem času s prostudovanou teorií jsem nakonec dospěl k závěru, že by toto inteligentní LED světlo bylo vlastně úplně stejné jako konkurence a nepřineslo by téměř nic nového. Pouze by to byl můj vlastní výtvar s mou vlastní komunikací.

Mým cílem bylo z prvopočátku vytvořit LED světlo, které by již mělo zabudované všelijaké senzory, které se v dnešních domácnostech používají pro lepší komfort, pro zabezpečení objektu nebo jsou prostě předepsané vyhláškou např. kouřové snímače. Při tomto návrhu jsem se setkal s tím, že by byly snímače ovlivněny různými aspekty světla např. velkým oteplením výkonnových prvků. Druhý problém byl vtom, že by se musel vytvořit výkonnový LED modul s mezerou v plošném spoji a tato část plošného spoje by byla dále nevyužita a vyhozena již při výrobě.

Dnešní prvky pro inteligentní (chytrou) domácnost jsou velmi omezené a to tím, že všechny jsou takzvaně jednoúčelové. Každé zařízení umí jen to, co tomu výrobce předprogramoval a není tak možné k němu nic externě připojit, přitom vyvézt ze zařízení nějaký konektor pro rozšíření jeho funkce je téměř zadarmo pro výrobce. Zařízení by se muselo zdražit pouze o několik korun. Samostatný hotový snímací prvek např. snímač teploty je mnohem dražší, protože je nutné u něho zajistit komunikaci s centrální sběrnicí a napájení. Kdyby se v každé místnosti připojily tyto senzory k již hotové řídicí desce, cena by byla mnohem nižší. Bylo by potřeba méně součástí a tím pádem by to bylo i ekologičtější.

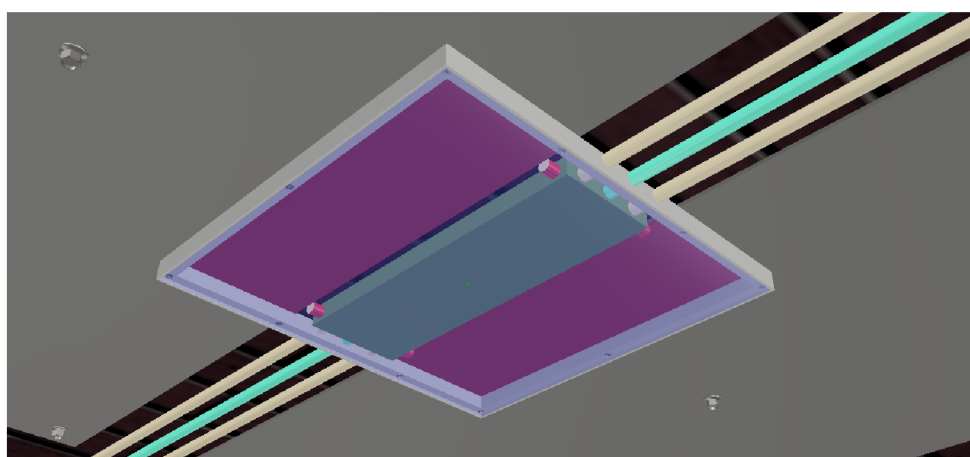
V programu Inventor 2018 jsem vytvořil 3D model konceptu zabudového světla. Inventor je nástroj pro 3D strojírenské navrhování, dokumentaci a simulaci produktů. Můj koncept se skládá z velkého hliníkového plechu o síle 3 mm přišroubovanému ke stropu, který slouží jako chladič pro LED modul. Tyto chladiče mohou být dva, aby tak vzniklo jedno výkonnější světlo, jako je na obrázku 6.1. Tyto velké zabudované chladiče mají mnoho výhod a to především z hlediska ekologie a životnosti LED panelu. Při výměně odslouženého LED modulu nebo části její elektroniky zůstane vše na svém místě a není potřeba tyto komponenty znovu dokupovat. Zákazník tedy nemusí vždy kupovat celé nové světlo. Druhá velká výhoda je v dostatečném chlazení LED modulu, protože s roustoucí teplotou diod se razantně snižuje jejich životnost a při dostatečném chlazení ji můžeme naopak prodloužit. Mezi chladiči je dostatečná mezera pro veškerou potřebnou kabeláž, jako je napájení a komunikace se snímači či s centrální sběrnicí. Tato mezera je důležitá ve chvíli, kdy chceme tahat kabeláž přímo po stropě. Síla omítky stropu bývá obvykle kolem 1 centimetru, bohužel při plném zabudování světla se do této hlobky nevejdeme vlivem tloušťky krycího plexiskla a výšky LED. To by znamenalo, že by se musela zesílit tloušťka

omítky na 1,5 centimetrů nebo by bylo světlo přiznané.



Obr. 3.1: 3D model konceptu světla.

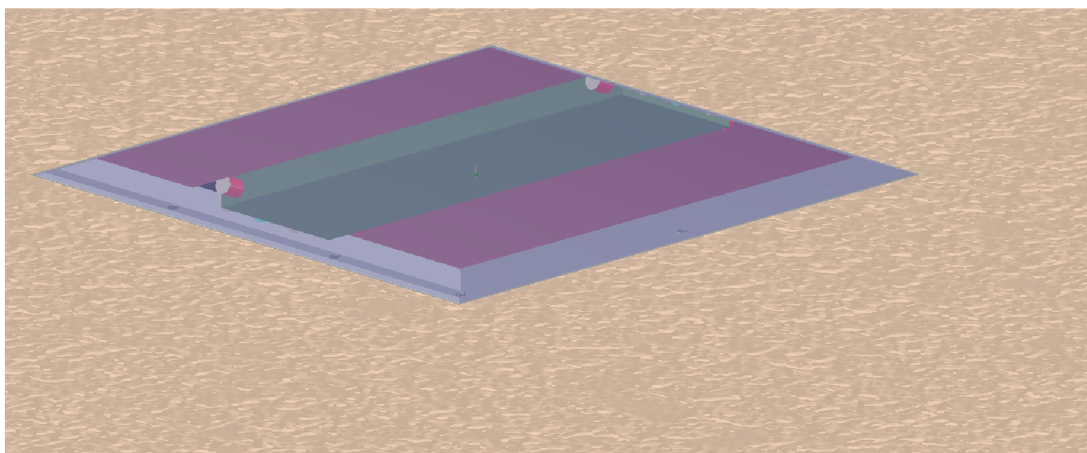
Na chladičích je přišroubovaný rám světla, který odděluje světlo od omítky. rám může být celý zapuštěný částečně nebo přiznaný. Na rámu je přilepené plexisklo, aby nebyly nikde vidět žádné šrouby. Plexisklo může být mléčné, aby nebylo vidět dovnitř nebo průhledné. Detail světla je na obrázku 3.2. Výsledný pohled na světlo



Obr. 3.2: 3D detail konceptu světla.

je na obrázku 6.3. Zabudování je možné i do sádkartonového stropu nebo do

cihelného či betonového. Druhá varianta by spočívala v tom, že by se samotná řídicí elektronika umístila do elektroinstalační krabice, která může být skryta, aby nenarušovala estetický dojem. Veškeré řídicí signály by byly vyvedeny po stropě ke konkrétním světlům a bylo by tak možné jednou elektronikou řídit více světelných okruhů v místnosti. Díky zabudované elektronice ve stropě nebo ve zdi by bylo možné umístit do místnosti jakákoliv designová světla přizpůsobená tomuto zapojení.



Obr. 3.3: 3D model konceptu zabudovaného světla.

### 3.1 Ekologie

Evropská unie tlačí výrobce elektrických zařízení k vytváření takových zařízení, které je možné opravit a není nutné je hned vyhodit kvůli jedné vadné součástce nebo kvůli zalepení některých součástí, které by se demontáží poškodily. I přes tato nařízení se většinou vyplatí koupit celý nový produkt, protože cena opravy v běžných nebo autorizovaných servisech je velmi vysoká. Je to hlavně zapříčiněno tím, že i přes potřebnou servisní dokumentaci pro opravu jednotlivých desek zařízení, vyměňují servisy celé desky plošných spojů za tisíce korun a nezabývají se jen např. výměnou vadného kondenzátoru za několik korun. Diagnostika celé desky plošných spojů je mnohem náročnější proces než jeho výměna. Je potřeba znát funkce jednotlivých elektronických součástek a jejich chování v obvodu a hlavně jsou zapotřebí měřicí přístroje jako osciloskop, multimetr, generátor signálu apod.. Proto jsme vyprodukovali v roce 2019 167 tisíc tun elektroodpadu v České republice [33]. Občas není možná ani výměna jednotlivých součástek, protože se některé specializované integrované obvody vyrábějí přímo na zakázku pro daného výrobce nebo prostě se poškodí nějaký řídicí mikrokontrolér, do kterého už není možné sehnat firmware výrobce.

Další rozsáhlý problém u všech elektronických zařízení vzniká, protože všichni výrobci hledí hlavně na své obraty a dělají tzv. "plánované zastarávání". To je proces, kdy výrobci uvádí na trh každý rok nové zařízení, přičemž se liší většinou pouze minimem změn a to např. v designu, přidáním jisté funkce nebo jen minimalistické zvýšení výkonu procesoru třeba u mobilních telefonů. Konec softwarové podpory staršího zařízení. Softwarová podpora již zmíněných mobilních telefonů nebo i jiných zařízení je velmi krátká a to zpravidla přibližně 2 roky.[24]

Někteří výrobci dokonce implementují do svých konstrukcí záměrné hardwarové nebo softwarové vady, aby po skončení záruční lhůty bylo nutné zase koupit nový produkt. Hardwarové vady lze někdy odhalit, zpravidla to bývají kondenzátory u chladičů, které vlivem vysoké teploty postupně degradují. Občas je ale zařízení tak špatně navrženo ať už úmyslně nebo neúmyslně, že poruchovost je velmi vysoká. Softwarové vady už nelze odhalit jednoduše, protože mohou být implementovány pouze interně v mikrokontroléru, kam nikdo nemá přístup. Může to být např. pozvolné zpomalování výrobku pomocí jednotlivých aktualizací, kdy se zařízení dostane do bodu, že není nadále použitelné a zákazník si koupí nový kus.

## 3.2 Napájení a zálohovatelnost

V dnešní době je velký rozmach fotovoltaických elektráren přímo na střeších rodinných domů. Přebytková (nespotřebovaná) energie se ukládá do akumulátorů, které slouží jako uložení energie. Přes noc nebo když fotovoltaický systém nepokryje spotřebu domu, se energie čerpá právě z akumulátorů. Většinou je na akumulátor připojený střídač napětí, který ze stejnosměrného napětí udělá střídavé síťové napětí 230 V.

Střídač je drahé a v dnešní době již zbytečné elektronické zařízení pro slaboproudé obvody, protože každé elektronické zařízení (mimo výkonových, jako jsou např. sporáky, indukční desky, ohřívače vody apod.) má v sobě již zabudovaný zdroj a napětí zase zpádky přemění na stejnosměrné. Každý střídač, zdroj nebo měnič napětí má nějaké výkonnové ztráty při přeměně energie (přibližně 5% - 20%). To znamená, že část energie se přemění na teplo dvakrát za sebou. Poprvé střídačem napětí (např. z 48 V DC na 230 V AC) a podruhé u spotřebiče (např. z 230 V AC na 5 V DC). Při napájení LED světla a dalších zařízení s nízkou spotřebou přímo ze stejnosměrné sítě se zefektivní přenos energie, sníží se ztráty a náklady.

### 3.2.1 Napájení spotřebičů do stovek watů

Pro zvolení hodnoty napětí je důležitým faktorem výkon jednotlivých připojených spotřebičů. S vyšším napětím v obvodu může protékat menší proud pro daný výkon.

V tabulce 6.1 je výpočet úbytků napětí na vedení pro spotřebiče o výkonu 50 W, 100 W a 300 W při délce vedení 30 metrů. Výpočty jsou pro měděné kabely typu CYKY o průřezu 2x 1,5mm<sup>2</sup>, které se dnes používají jako vedení ke světlům. Výrobce udává elektrický odpor tohoto kabelu 7,520 ohm na km [10].

Tab. 3.1: Výpočet úbytků napětí na vedení.

U [V]	pro zátěž 50 W			pro zátěž 100 W			pro zátěž 300 W		
	I [mA]	U [mV]	P [mW]	I [mA]	U [mV]	P [mW]	I [mA]	U [mV]	P [mW]
24	2083,3	1566,4	3263,3	4166,7	3132,8	13053,1	12500,0	9398,3	117478,1
48	1041,7	783,2	815,8	2083,3	1566,4	3263,3	6250,0	4699,1	29369,5
72	694,4	522,1	362,6	1388,9	1044,3	1450,3	4166,7	3132,8	13053,1
96	520,8	391,6	204,0	1041,7	783,2	815,8	3125,0	2349,6	7342,4
120	416,7	313,3	130,5	833,3	626,6	522,1	2500,0	1879,7	4699,1
144	347,2	261,1	90,6	694,4	522,1	362,6	2083,3	1566,4	3263,3
168	297,6	223,8	66,6	595,2	447,5	266,4	1785,7	1342,6	2397,5
192	260,4	195,8	51,0	520,8	391,6	204,0	1562,5	1174,8	1835,6
240	208,3	156,6	32,6	416,7	313,3	130,5	1250,0	939,8	1174,8

Z tabulky můžeme vidět, že s rostoucím výkonem ve spotřebiči roste proud pro stejné napájecí napětí. Úbytek na vedení označujeme jako ztrátový výkon, který je nežádoucí a z toho důvodu je zapotřebí nastavit celou domácí elektrickou síť na nějaké optimální napětí. Čím větší je napětí, tím menší proud protéká vodiči, je menší ztrátový výkon a díky tomu lze použít vodiče s menším průřezem, které jsou levnější. Maximální napětí je omezené několika aspekty. Jedním z nich je bezpečnost při poruše (větší napětí může člověka jednodušeji zabít a může vytvořit větší elektrický oblok, který může něco zapálit) a druhý je maximální napětí, pro které lze vyrobit efektivní spotřebiče. Všechny DC-DC měniče jsou navrženy na určitý rozsah napětí a s rostoucím napětím klesá jejich počet. Dnes jsou tyto čipy vyráběny převážně do 80 V.

### 3.2.2 Napájení spotřebičů do desítek watů

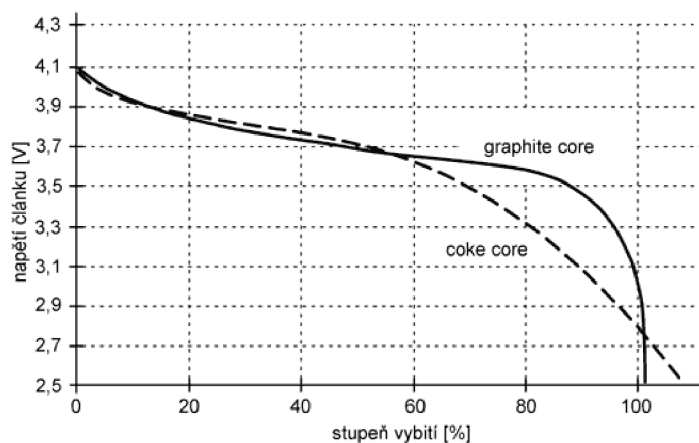
Do snímačů a nízkopříkonových spotřebičů do výkonu desítek watů je neekonomické připojit vysoké napájecí napětí. Zařízení by pak musely mít vlastní spínaný měnič napětí, který je velký a drahý. Každý snímací modul nebo jiný akční prvek bude připojen ke sběrnici. Toto propojení je možné udělat vícežilovým kabelem, který by slučoval napájení a datový signál. Napájení tedy může být přímo ze světla zabudovaným měničem.



### 3.2.3 Zálohování

Pro zálohování napájení se používá akumulátor, což je zařízení sloužící pro uchování elektrické energie. Po jeho vybití je možné ho opětovně nabít a dále používat narozdíl od baterie, která nelze dobít respektive většina baterií lze dobít nízkým proudem přibližně 5x, ale s každým nabitím je výrazný pokles kapacity baterie a je to nebezpečné, protože na to nejsou navrženy. Akumulátorů je mnoho typů a mezi nejrozšířenější dnes patří technologie Li-Ion (Lithium-iontová), která má nejlepší poměr cena/výkon. Dnes se již používají lepší baterie s vyšší životností i kapacitou, ale stále jsou drahé.

Všechny akumulátory mají nějaké vybíjecí charakteristiky, ze kterých můžeme vidět rozsah napětí, které může akumulátor poskytnout. Nominální napětí pro Li-Ion je 3,6 V nebo 3,7 V podle výrobce, ale z charakteristiky na obrázku 10 můžeme vyčíst, že nabitě jsou při napětí 4,2 V a vybité jsou při 2,5 V. Tyto krajní hodnoty jsou mezní, ve kterých baterie rychleji ztrácí svoji životnost, tak se nedoporučuje je nabíjet a vybíjet do maximálních hodnot.



Obr. 3.4: Vybíjecí charakteristika akumulátoru Li-ion.[26]

Při návrhu jakéhokoliv zálohovatelného systému musíme dbát na tento rozptyl napájecího napětí, který sice není tak značný, ale při složení několika článků sériově už je poměrně značný. Jak jsem již nastínil, je možné stejné (nejlépe nové) články zapojovat různě v sériové i paralelní kombinaci. Při pospojování akumulátorů je důležité, aby každý akumulátor měl stejně velké napětí, protože by vyrovnávací proudy mohly být tak velké, aby se poškodily některé články.

Každý sestavený akumulátor musí obsahovat elektronickou řídicí jednotku BMS (Battery Management System), která o něj pečuje, protože vlivem vysoké teploty, zkratu, přebíjení nebo podbíjení mohou tyto baterie explodovat, proto tato řídicí jednotka odpojí výstup. Při nabíjení se řídicí jednotka stará o balancování (vyvá-



žení) napětí na člancích. Pasivní BMS dokáže vyvažovat napětí lehkým zkratováním článku pomocí tranzistorů (několik desítek mA) a aktivní BMS dokáže tuto energii přemístit z jednoho článku do druhého, ale tento způsob je velmi drahý, proto se zřídka používá.

Pro výkonnové napájení osvětlení je optimální složení dvou akumulátorů o nominálním napětí 48 V a 24 V nebo 19 samostatných článků do série. V budoucnosti by bylo optimální spojení dvou 48 V akumulátorů do série, aby výsledné napětí bylo do hranice SELV 120 V a na vodič vznikala menší ztrátový výkon.

Vypočítané parametry baterie:

1. počet článků
  - 19
2. minimální napětí
  - 47,5 V (přibližně 2,5 V na článek)
3. maximální napětí
  - 79,8 V (přibližně 4,2 V na článek)
4. optimální maximální napětí (80% kapacity pro zachování dlouhé životnosti akumulátoru)
  - 74.1 V (přibližně 3,9 V na článek )

Pro simulaci vybraného akumulátoru použijte spínaný síťový zdroj MeanWell 24 V a 48 V, které zapojím do série. Při těchto pokusech je možné využívat jakékoliv napětí samostatně, ale v případě akumulátoru není možné využívat pouze část akumulátoru. V reálném prostředí by bylo potřeba ještě pořídit 24 V akumulátor pro napájení celé řídicí části chytré elektroinstalace.

### 3.3 Bezpečnost

Každý výrobek musí být bezpečný, za to považujeme výrobek, který za běžných nebo rozumně předvídatelných podmínek užití nepředstavuje po dobu stanovené nebo obvyklé použitelnosti žádné nebezpečí při správném užívání výrobku. Všechny výrobky také musí být certifikovány dle příslušných norem a řádně testovány ve zkušebních laboratořích. [30]

Běžně dostupná LED světla jsou přímo na síťové střídavé napětí 230V. Při poruše světla se toto napětí může dostat na konstrukci světla. Střídavé napětí je mnohem nebezpečnější než stejnosměrné napětí. Závažnější negativní účinky pro naše zdraví jsou u střídavého napětí od 30 mA a u stejnosměrného napětí od 120 mA. Kromě proudu záleží na době trvání působení proudu a u střídavého napětí na fázi srdečního cyklu. [30]

Ochrana malým napětím typu SELV (Safety Extra Low Voltage) (do 120 V DC), je elektrické oddělení obvodu od nebezpečného obvodu bez uzemění. V této síti nemůže napětí přesáhnout hodnoty ELV za normálních podmínek a podmínek jedné poruchy včetně zemních poruch v jiných obvodech. Představuje nejdokonalější zajištění proti vniknutí nebezpečných napětí. Dle normy jsou zde přísné požadavky na zdroj napětí a izolaci celého obvodu. [30]

### 3.4 Spolehlivost

Celý navržený systém musí být spolehlivý tak, aby při poruše jednoho prvku, byl pořád plně funkční zbytek chytré elektroinstalace. Z prvotního návrhu centrálního systému bude spolehlivější decentralizovaný systém s jednou společnou jednotkou (W)LAN, ta bude zprostředkovávat veškerou komunikaci mimo tuto uzavřenou komunikační síť. Díky drátovému přenosu bude pouze tato jedna jednotka obstarávat bezpečnost systému pro případné napadnutí cizím člověkem. Každý prvek teda musí být schopen komunikovat s jakýmkoliv jiným prvek na sběrnici bez jakéhokoliv prostředníka. Veškerá data ze snímačů se budou posílat do (W)LAN jednotky ke zpracování a pro následné zobrazení někde na mobilním telefonu, webové stránce nebo na informačním panelu.

### 3.5 Požadavky

Dnešní prvky elektronických zařízení mají stále mnoho nevýhod a především nejsou ekologické, ekonomické a nejsou připraveny pro ostrovní systémy nebo systémy s

fotovoltaickými panely. Touto prací bych chtěl odstranit známé nedostatky a připravit základ systému pro budoucí kompletní elektroinstalaci včetně všelijakých akčních členů, snímačů, domovních zvonků apod..

Požadavky:

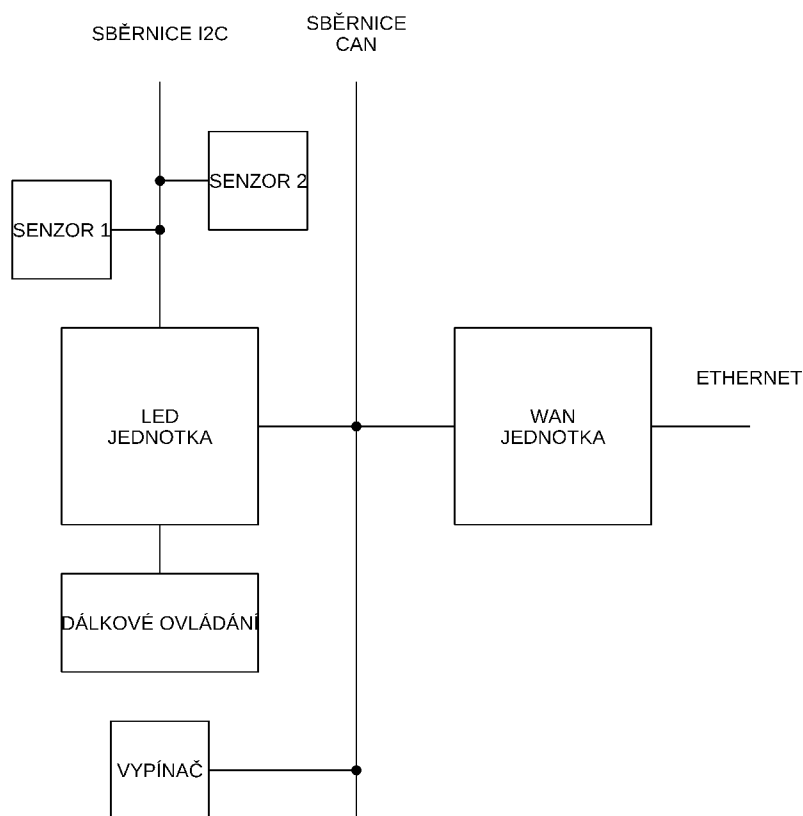
1. jednoduchá zálohovatelnost celého systému a napojení na ostrovní systémy
  - napájení stejnosměrným napětím
2. elektrická efektivnost celého systému
  - přímé napojení z baterie (větší rozsah pracovního napětí)
3. bezpečnost před napadením komunikací
  - použitím drátové komunikace, která nelze rušit rušičkami a není možné se na ni napojit bezdrátově
4. elektrická bezpečnost SELV
  - napájení stejnosměrným napětím do 120 V
5. méně výkonné prvky pod 10 W připojovat pouze jedním kabelem
  - použití vícevodičového vedení v jedním společném kabelu



## 4 Hardware

Pro návrh schémat a desek plošných spojů jsem používal CAD editor Eagle ve verzi 9.6.2 od společnosti Autodesk. Plošné spoje jsem se snažil dělat co nejmenší s využitím konstrukčních tříd, které jsem musel měnit pro jednotlivé napěťové okruhy.

Blokový diagram elektrického zapojení můžeme vidět na obrázku Obr. 4.1. Systém se skládá z jedné WAN jednotky, která zprostředkovává veškerou komunikaci mimo tuto uzavřenou síť s celým světem pomocí ethernetu, z libovolného počtu dalších LED jednotek a vypínačů, které jsou ale omezeny maximálním počtem účastníků na sběrnici CAN. Ke každé LED jednotce je možné zapojit libovolné množství dalších snímacích prvků nebo akčních prvků. To je omezeno pouze firmwarovým a softwarovým vybavením jednotky.

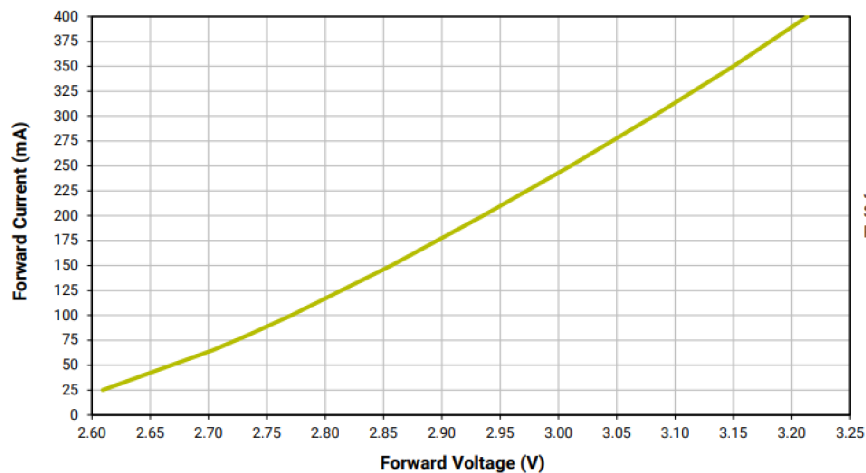


Obr. 4.1: Blokový diagram zapojení instalace.

### 4.1 Budič LED

Svítilivé diody je potřeba napájet zdrojem konstantního proudu, protože s nepatrnou změnou napětí je velká změna proudu, to můžeme vidět na obrázku Obr. 4.2. Zdroj

proudu je takový zdroj, který udržuje konstantní proud nehlédě na napětí, mění se tedy napětí. Zdroj napětí naopak udržuje konstantní napětí nehlédě na tekoucím proudem.



Obr. 4.2: VA charakteristika LED.

Spínané měniče napětí využívají rychlého spínání vstupního elektrického napětí v řádech stovek kHz, kterým akumulují energii do cívky a kondenzátoru. Akumulační prvky předávají spojitě energii do zátěže v době vypnutí spínaných prvků [28, 29]. To lze popsat aplikací Faradayova indukčního zákona ve velmi zjednodušené formě [29]:

$$i(t) = \frac{1}{L} u dt$$

kde  $L$  je indukčnost cívky,  $u$  je indukované napětí,  $i$  je procházející elektrický proud a  $t$  je čas,  $dt$  je diference času. Po připojení elektrického napětí na cívku pro definovaný časový interval  $T$  nastane stav, při kterém se v magnetickém poli cívky akumuluje energie  $W$  [29]:

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

Tato energie se může přeměnit na energii elektrickou a protéci obvodem jako elektrický proud  $I$ . Tyto stabilizátory dosahují účinnosti až 99% při ideálních podmínkách stanovených výrobcem, ale samotný obvod je mnohem složitější a dražší. Používají se v dnešní době v téměř každém elektronickém zařízení např. v mobilních telefonech, počítačích, různých nabíječkách nebo mobilních zařízeních. Lze je rozdělit do základních třech skupin podle jejich vlastností [28]:

- Snižovač napětí (Buck, Step-Down) – pouze snižuje napětí, nejlevnější varianta.

- Zvyšovač napětí (Boost, Step-Up) – pouze zvyšuje napětí, dražší varianta.
- Invertující (Inverting, Buck-Boost) – svým zapojením umožňuje zvyšovat i snižovat napětí, nejdražší varianta.

Tyto typy DC/DC měničů se vyrábí jako integrované obvody se spínacím tranzistorem nebo bez něj, kde je již vyřešená veškerá regulace. Pomocí externích polovodičových součástek jako jsou cívky a kondenzátory nebo pomocí rezistorů je možné nastavit každý DC/DC měnič podle svých představ v závislosti na možných pracovních hodnotách výrobce.

Vybral jsem dva LED budiče (LM3409 a AL9902) a v závěru práce porovnám jejich účinnost. Měnit jas diod je možné pomocí analogového nebo digitálního (PWM) stmívání. Digitální stmívání má velkou výhodu v menších krocích, ve kterých lze měnit jas, což je užitečné při úplné tmě, když potřebujeme rozsvítit světlo tak, aby nás neoslňovalo. Každý budič je možné nastavit podle našich požadavků pomocí externích součástek, proto jsem vytvořil v programu Matlab R2020a program LM3409.m a AL9902.m, do kterého napíšeme naše parametry a následně nám program vypočítá všechny hodnoty součástek podle datasheetu od výrobce. Po výpočtu parametrů je potřeba zvolit cívku z řady, která se vyrábí a zadat ji do programu ručně. Bylo by možné všechny tyto výběry automatizovat, ale bylo by to složitější.

## 4.2 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér (Microcomputer Unit, MCU) je monolitický integrovaný obvod, který obsahuje řídicí jednotku, paměti RAM a ROM, vstupy/výstupy, časovače a jiné periférie. Vyznačují se velkou spolehlivostí a kompaktností. V dnešní době jsou již standardem v každém složitějším zařízení pro řízení, regulaci apod. [27]. Pro tento projekt jsem vybral mikrokontrolér STM32 od firmy STMicroelectronics. Jedná se o 32 bitový procesor založený na architektuře ARM. Jeho nespornou výhodou je v širokém a dostupné škále vývojových kitů NUCLEO nebo Discovery. Všechny vývojové kity už obsahují programátor. Discovery kity navíc obsahují i dodatečné periférie jako např. displej, LED, tlačítka, snímače. W(LAN) jednotka je tvořena pomocí kitu NUCLEO-F767ZI, který již obsahuje ethernetový driver.





## 5 Software

Pro programování a ladění mikrokontrolérů STM32 bylo výrobcem mikrokontroléru STMicroelectronics přímo vyvinuto programovací studio STM32CubeIDE určené přímo pro tyto typy mikrokontrolérů ze série STM. Prostředí je založené na open source vývojové platformě Eclipse a využívá se primárně pro programování v jazyce Java, ale podpora programovacích jazyků lze rozšířit za použití dodatečných pluginů.

STM32CubeIDE je univerzální vývojový nástroj pro více operačních systémů. Součástí softwarového ekosystému je STM32Cube pro jednoduchou konfiguraci všech periférií. STM32CubeIde je pokročilá vývojová platforma v jazyce C/C++ s funkcemi konfigurace periférií, generování kódu, kompilace kódu a ladění pro mikrokontroléry a mikroprocesory STM32. STM32CubeIDE obsahuje také standardní a pokročilé ladicí funkce včetně zobrazení registrů jádra procesoru, paměti a registrů periférií, živé sledování proměnných, rozhraní Serial Wire Viewer nebo analyzátor chyb. [25]

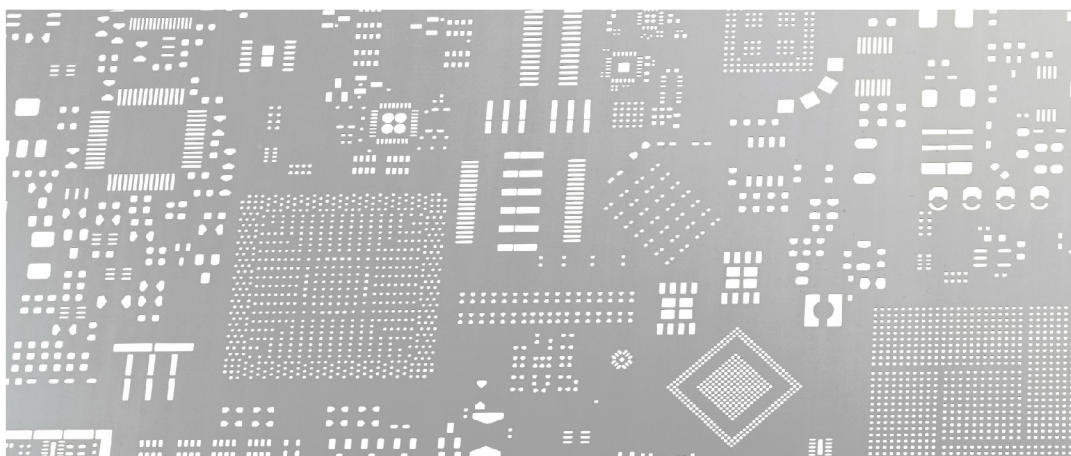
V dnešní době spějí elektronické konstrukce ke zjednodušenému ovládání s menším množstvím ovládacích prvků. Využívá se zejména rotačního enkodéru, což je elektromechanický převodník převádějící mechanické pohyby na digitální impulzy. Nemá žádnou počáteční ani koncovou polohu a lze ho používat na široké spektrum ovládání od hlasitosti až po pokročilý systém menu. Ovládání světla musí být uživatelsky intuitivní, přívětivé a snadné. Pomocí samotného rotačního enkodéru by bylo rozsvícení světla příliš zdlouhavé, proto je potřeba přidat další tlačítko a vytvořit jednoduché menu se zobrazovací jednotkou. Pomocí stisku enkodéru se rozsvítí a zhasne světlo, rotačním pohybem se změní jas a dalším tlačítkem je možné pohybovat se v nastavení jednotlivých barev.



## 6 Osazení a oživení hardwaru

Po kompletním návrhu a závěrečné prohlídce vytvořených desek plošných spojů byla vyexportována Gerber data a zaslána profesionální firmě na výrobu. Ruční osazení páječkou všech zvolených komponent není možné, protože některé součástky mají pájecí plošky i zespodu pro lepší odvod tepla a při velkém počtu osazovaných součástek se zvyšuje i chybovost osazení (zkratky, nedokonalé zapájení).

LED deska je z plošného spoje na hliníkovém substrátu, který se využívá pro lepší odvod tepla k chladiči. Běžnou ruční páječkou nebo horkým vzduchem by ani nebylo možné zahřát celý plošný spoj a osadit všech 130 LED. Pro tyto účely se musí použít prototypová šablona, kterou můžeme vidět na obrázku Obr. 6.1.



Obr. 6.1: Nerezová šablona pro ruční osazování.

Za pomoci laseru se do tenkého nerezového plechu vyříznou všechny pájecí plošky. Šablona se položí na plošný spoj tak, aby seděly na sobě všechny pájecí plošky a stěrkou se nanese do všech pájecích plošek cínová pasta, která je tvořená rozemletou slitinou cínu, olova a tavidlem. Tloušťka této šablony určuje tloušťku nanesení cínové pasty. Po odstranění šablony se opatrně nanesou všechny součástky na plošný spoj a následným zahřátím se přetaví cín. Pro tyto účely jsem vyrobil jednoduchou zahřívací jednotku, kde se na PID regulátoru teploty postupně nastavuje teplota tak, aby se dodržel pájecí profil součástek, který je závislý na teplotě a času. Teplotní profil pájení slouží k tomu, aby se součástky vlivem rychlé změny teplot nepoškodily. U diod by se mohly při nedodržení pájecího profilu poškodit silikonové čepičky a to by mělo za následek zkrácení životnosti a zhoršení parametrů LED.

## 6.1 Měření

Po osazení a oživení desek plošných spojů jsem změřil účinnosti budičů pro každou barvu. Měřil jsem multimetrem UNI-T UT61E. Na zdroji jsem nastavil napětí 74 V a měřil napětí a proudy na vstupech i výstupech. Následně jsem napětí a proudy přepočítal na elektrický výkon podle vzorce:

$$P = UI \text{ [W]}$$

z elektrického výkonu se dále vypočítá účinnost a vynásobí se 100 pro výsledek v procentech:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} 100 \text{ [%]}$$

Tab. 6.1: Změřené parametry budičů LM3409.

Barva	$P_{IN}$ [W]	$U_{OUT}$ [V]	$I_{OUT}$ [mA]	$P_{OUT}$ [W]	$\eta$ [%]
RED	13,1	31,2	356,1	11,1	84,6
GREEN	16,6	41,3	355,5	14,7	88,7
BLUE	16,6	41,5	354,3	14,7	88,7
CW	33,8	42,9	702,3	30,1	89,1
WW	33,9	43,0	703,2	30,3	89,3

Tab. 6.2: Změřené parametry budičů AL9902 a lineárního.

Barva	$P_{IN}$ [W]	$U_{OUT}$ [V]	$I_{OUT}$ [mA]	$P_{OUT}$ [W]	$\eta$ [%]	$\eta$ pro lineární b. [%]
RED	12,7	29,3	350,3	10,3	81,1	42,2
GREEN	16,7	41,2	350,7	14,4	86,5	55,9
BLUE	16,6	40,9	352,1	14,4	86,5	56,0
CW	34,7	42,7	698,2	29,8	85,8	58,0
WW	34,7	42,6	702,1	29,9	86,1	58,1

Největší účinnost dosahuje budič LM3409 pro barvu WW s největším úbytkem napětí a  $\eta$  89,3%. V reálných podmínkách by se účinnost budičů zvýšila vlivem ztrátového výkonu na vedení. Pro porovnání jsem vypočítal i účinnost lineárního stabilizátoru, která dosahovala až k 58,1 %, ale s roustoucím tekoucím proudem a rozdílem napětí mezi vstupem a výstupem, by se tato účinnost razantně snižovala.

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout koncept inteligentního LED osvětlení s možností míchání barev RGB/CW/WW schopného komunikovat se senzory a dalšími ostatními jednotkami včetně (W)LAN jednotky a připravit osvětlení pro moderní domácnosti, kde se využívá sluneční energie pro výrobu elektrické energie.

Z prvotního návrhu konceptu osvětlení s integrovanými senzory jsem dospěl k řešení s neintegrovanými senzory. Některé senzory (kouřové, teplotní) je totiž potřeba umístit na požadovaná místa, které nemusí být zrovna tam, kde potřebujeme světlo. Při návrhu konceptu jsem dbal na bezpečné, ekologické, ekonomické, spolehlivé a zálohovatelné řešení.

Navrhl jsem dva spínané LED budiče, které splňovaly napěťové i proudové požadavky pro toto osvětlení a oměřil jejich parametry. Budič LM3409 dosahoval účinnosti 89,3 % a s rostoucím roudílem napětí mezi vstupem a výstupem se tato účinnost snižovala. To odpovídá datasheetovým parametrům. Druhý LED budič dosahuje k účinnosti 86,5 %. Celý koncept se mi podařilo navrhnout i oživit. Funkce tohoto osvětlení jsou velmi omezené softwarem kvůli náročnému programování mikrokontrolérů STM32, který jsem programoval poprvé. Systém jsem chtěl udělat univerzální, aby bylo možné připojit jakýkoliv snímač k řídicí jednotce, ale zatím jsou pouze nějaké předdefinované snímače, které jsou kompatibilní. Uživatelsky není možné zadávat žádné hodnoty kromě nastavení jasu a barev osvětlení.

Všechna data ze snímačů se odesílají po CAN sběrnici k W(LAN) jednotce, přes kterou se posílají na vzdálený MySQL server pro další zpracování a zobrazení. Tuto databázi je možné následně vytvořit i na nějakém lokálním serveru např. pomocí jednodeskového počítače Raspberry Pi. Tato online databáze má výhodu v tom, že je možné číst kdykoliv a jakékoliv data za pomocí mikrokontrolérů, webových, počítačových nebo mobilních aplikací.

Do budoucna bych chtěl tento koncept dále rozvíjet. Navrhnout lepší a univerzálnější firmware a software, mobilní aplikaci, přes kterou by bylo možné řídit všechny jednotky a vytvářet všelijaké pracovní profily, pro možnost větší automatizace.



# Literatura

- [1] LED – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<<https://cs.wikipedia.org/wiki/LED>>.
- [2] Sběrnice. *itnetwork.cz - Ajtácká sociální síť a materiálová základna pro C, Java, PHP, HTML, CSS, JavaScript a další.* [online]. Copyright © 2021 itnetwork.cz. Veškerý obsah webu [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/hardware/tvy-sbernice>>.
- [3] I<sup>2</sup>C – Wikipedie. Dostupné z URL:  
<<https://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>>.
- [4] FRÝZA, Tomáš. Úvod do mikroprocesorové techniky. Digitální elektronika 2 [online]. 2018, 2018(3), 29 [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<[https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/289110/mod\\_resource/content/0/mpt\\_pred\\_07\\_i2c.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/289110/mod_resource/content/0/mpt_pred_07_i2c.pdf)>.
- [5] 7 bit 8 bit and 10 bit I<sup>2</sup>C Slave Addressing - Total Phase. *Embedded Excellence - Total Phase* [online]. Copyright © 2021 Total Phase, Inc. All rights reserved. [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<https://www.totalphase.com/support/articles/200349176-7-bit-8-bit-and-10-bit-I2C-Slave-Addressing>>.
- [6] Komunikace s čidlem přes I<sup>2</sup>C bez použití knihovny – mylms. *mylms* [online]. Dostupné z URL:  
<<https://www.mylms.cz/komunikace-s-cidlem-pres-i2c-bez-pouziti-knihovny/>>.
- [7] Getting Started with STM32 - I<sup>2</sup>C Example [online]. Dostupné z URL:  
<<https://www.digikey.pt/en/maker/projects/getting-started-with-stm32-i2c-example/ba8c2bfef2024654b5dd10012425fa23>>.
- [8] SPI rozhraní : Tajned - .NET and Embedded Development. *Tajned - .NET and Embedded Development* [online]. Copyright © http [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<http://www.tajned.cz/2016/12/spi-rozhrani/>>.
- [9] SPI Tutorial – Serial Peripheral Interface Bus Protocol Basics. *Home - JTAG Boundary-Scan, In-System Programming, & Bus Analyzers - Corelis* [online]. Dostupné z URL:  
<<https://www.corelis.com/education/tutorials/spi-tutorial/>>.
- [10] Prakab: CYKY [online]. Copyright © [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<https://www.prakab.cz/upload/products/CYKY.pdf>>.

- [11] Podstata světla. [online]. Dostupné z URL:  
<<https://publi.cz/books/185/01.html>>.
- [12] Christiaan Huygens – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Christiaan\\_Huygens](https://cs.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens)>.
- [13] Isaac Newton – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://cs.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)>.
- [14] James Clerk Maxwell – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/James\\_Clerk\\_Maxwell](https://cs.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell)>.
- [15] Podstata světla. [online]. Dostupné z URL:  
<<https://publi.cz/books/185/01.html>>.
- [16] Fyzikální podstata světla - Časopis Světlo - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/fyzikalni-podstata-svetla--16967>>.
- [17] Světlo – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<<https://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Btlo>>.
- [18] Light - Wikipedia. [online]. Dostupné z URL:  
<<https://en.wikipedia.org/wiki/Light>>.
- [19] Vše o fotografování pro fotografy | Fotorádce.cz [online]. Dostupné z URL:  
<<https://www.fotoradce.cz/svetlo-a-barva-ve-fotografii-blog>>.
- [20] Kdo vidí nejlíp: 6 ostrozrakých zástupců živočišné říše | 100+1 zahraniční zajímavost. *100+1 zahraniční zajímavost* [online]. Copyright © Extra Publishing, s. r. o. 2007 [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<https://www.stoplusjednicka.cz/kdo-vidi-nejlip-6-ostrozrakyh-zastupcu-zivocisn>>.
- [21] Historie žárovky od první Edisonovy žárovky až po LED | osvětlení Philips. [online]. Copyright ©2018 [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<https://www.lighting.philips.cz/consumer/advice-on-lighting-ideas/historie-zarovky-od-edisona-po-led-zarovky>>.
- [22] Edisonův závit – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Edison%C5%AFv\\_z%C3%A1vit](https://cs.wikipedia.org/wiki/Edison%C5%AFv_z%C3%A1vit)>.
- [23] Thomas Alva Edison – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Alva\\_Edison](https://cs.wikipedia.org/wiki/Thomas_Alva_Edison)>.



- [24] Plánované zastarávání – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/P1%C3%A1novan%C3%A9\\_zastar%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/P1%C3%A1novan%C3%A9_zastar%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD)>.
- [25] STM32CubeIDE - Integrated Development Environment for STM32 - STMicroelectronics . [online]. Copyright © 2021 STMicroelectronics [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>>.
- [26] Li-Ion. Faculty of Informatics Masaryk University [online]. Dostupné z URL:  
<<https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2005/xsimicek.htm>>.
- [27] FRÝZA, Tomáš. Úvod do mikroprocesorové techniky. Digitální elektronika 2 [online]. 2018, 2018(3), 29 [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<[https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/113698/mod\\_resource/content/5/mpt\\_pred\\_03.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/113698/mod_resource/content/5/mpt_pred_03.pdf)>.
- [28] NOVOTNÝ, Vladislav, Pavel VOREL a Miroslav PATOČKA. NAPÁJENÍ ELEKTRONICKÝCH ZAŘÍZENÍ [online]. Brno, 2005 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z URL:  
<[https://moodle-archiv.ro.vutbr.cz/pluginfile.php/435344/mod\\_resource/content/1/Skripta\\_BNEZ.pdf](https://moodle-archiv.ro.vutbr.cz/pluginfile.php/435344/mod_resource/content/1/Skripta_BNEZ.pdf)>.
- [29] BRTNÍK, Bohumil. Základní elektronické obvody. Praha: BEN, 2011. ISBN 978-80-7300-408-8.
- [30] Vysoké učení technické v Brně [online]. Dostupné z URL:  
<[https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=195047](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=195047)>.
- [31] CAN bus – Wikipedie. [online]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://cs.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)>.
- [32] FRÝZA, Tomáš. Úvod do mikroprocesorové techniky. Digitální elektronika 2 [online]. 2018, 2018(3), 29 [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<[https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/113698/mod\\_resource/content/5/mpt\\_pred\\_03.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/113698/mod_resource/content/5/mpt_pred_03.pdf)>.
- [33] Elektroodpad jako zdroj cenných surovin. Jejich druhotné využití je třeba podpořit - Společnosti REMA. Úvod - Společnosti REMA [online]. Copyright © 2005 [cit. 27.05.2021]. Dostupné z URL:  
<<https://www.rema.cloud/elektroodpad-jako-zdroj-cennych-surovin-jejich-druhotne-vyuziti-je-treba-podporit>>.

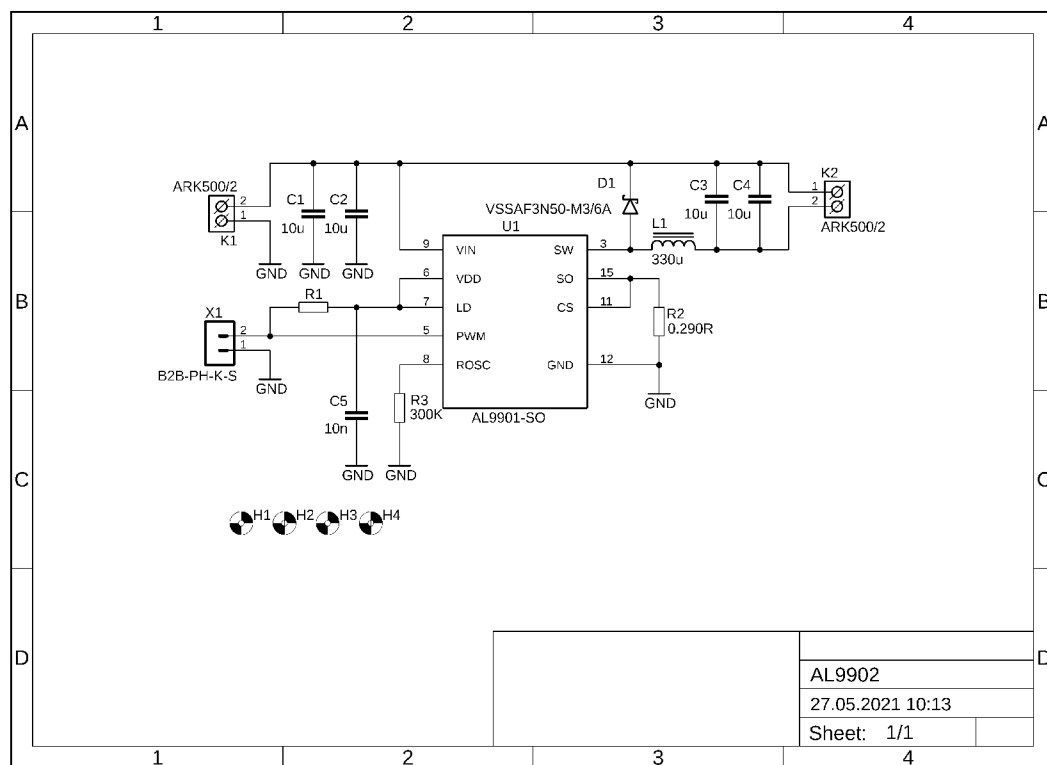


## Seznam symbolů a zkratek

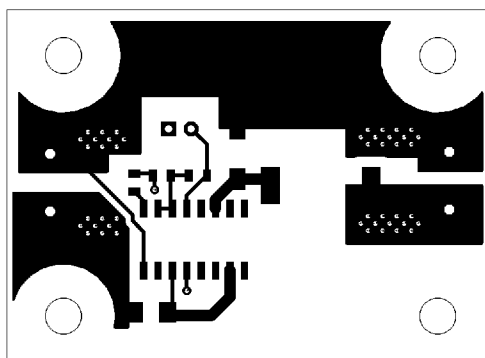
<b>I2C</b>	Inter-Integrated Circuit
<b>TWI</b>	Two Wire Interface
<b>SDA</b>	Synchronous Data
<b>SCL</b>	Synchronous Clock
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface
<b>MISO</b>	Master In, Slave Out
<b>MOSI</b>	Master Out, Slave In
<b>SCK</b>	hodinový signál
<b>SS</b>	Slave Select
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>SELV</b>	Safety Extra Low Voltage
<b>PELV</b>	Protective Extra Low Voltage
<b>Li-Ion</b>	Lithium-iontová
<b>BMS</b>	Battery Management System
<b>MCU</b>	Microcomputer Unit
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>ROM</b>	Read-Only Memory



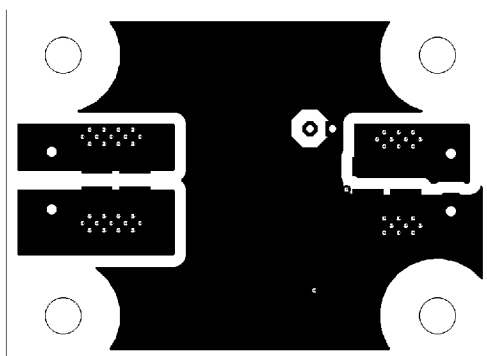
## 7 Přílohy



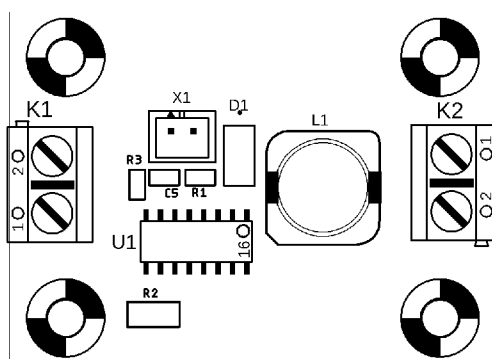
Obr. 7.1: Schéma zapojení budiče AL9902.



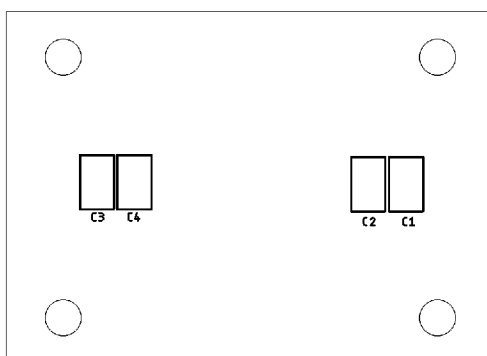
Obr. 7.2: TOP vrstva budiče AL9902.



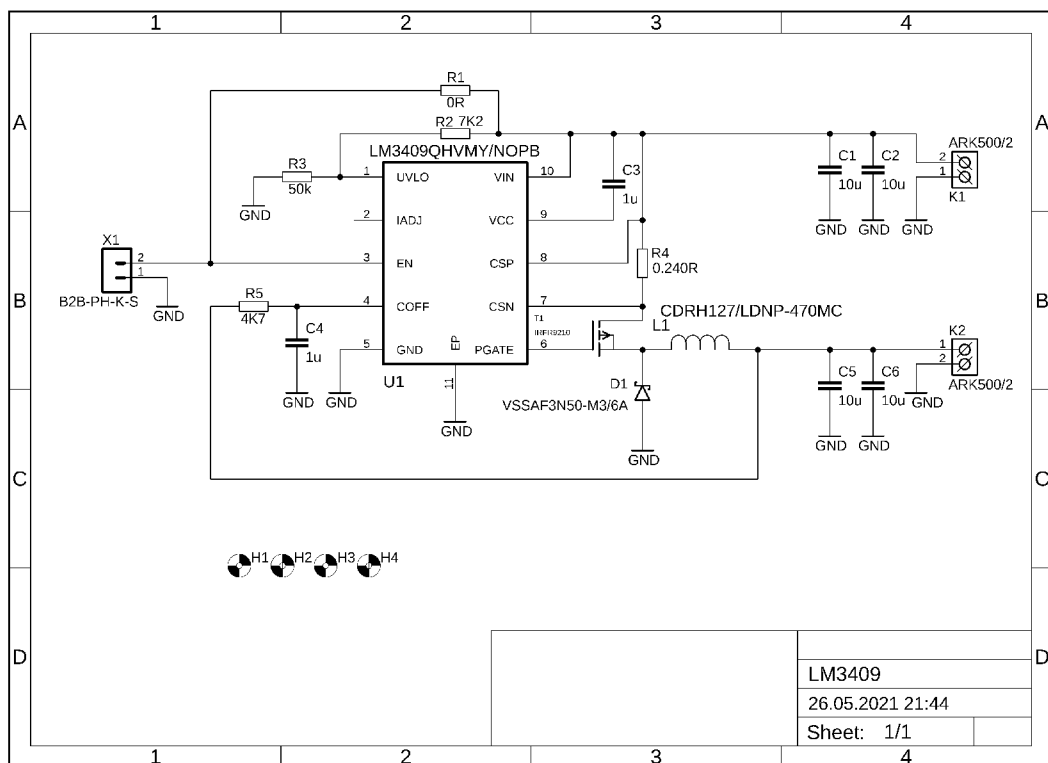
Obr. 7.3: BOTTOM vrstva budiče AL990.



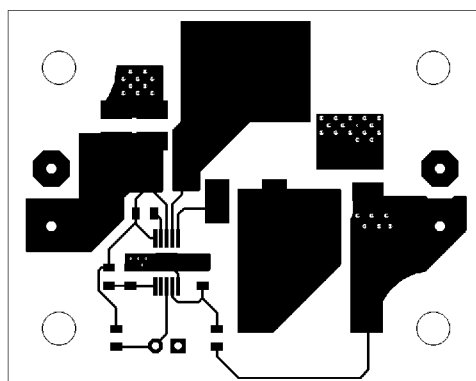
Obr. 7.4: TOP osazovací plán budiče AL990.



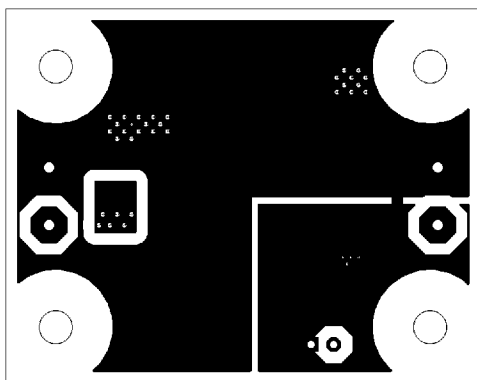
Obr. 7.5: BOTTOM osazovací plán budiče AL990.



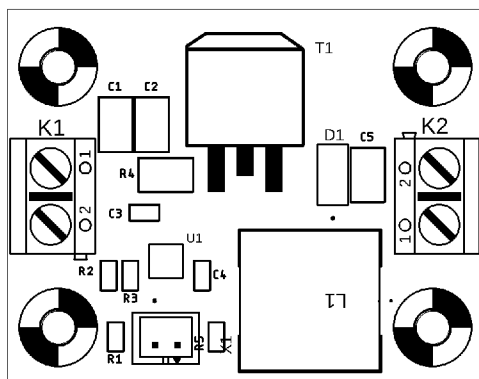
Obr. 7.6: Schéma zapojení budiče LM3409.



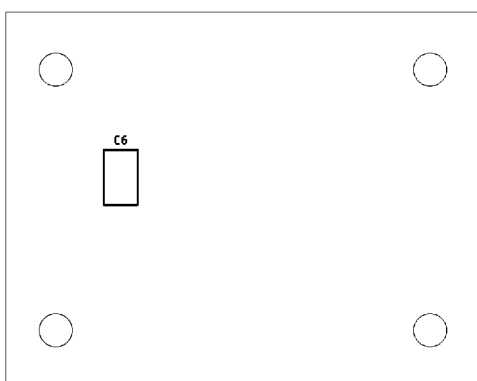
Obr. 7.7: TOP vrstva budiče LM3409.



Obr. 7.8: BOTTOM vrstva budiče LM3409.

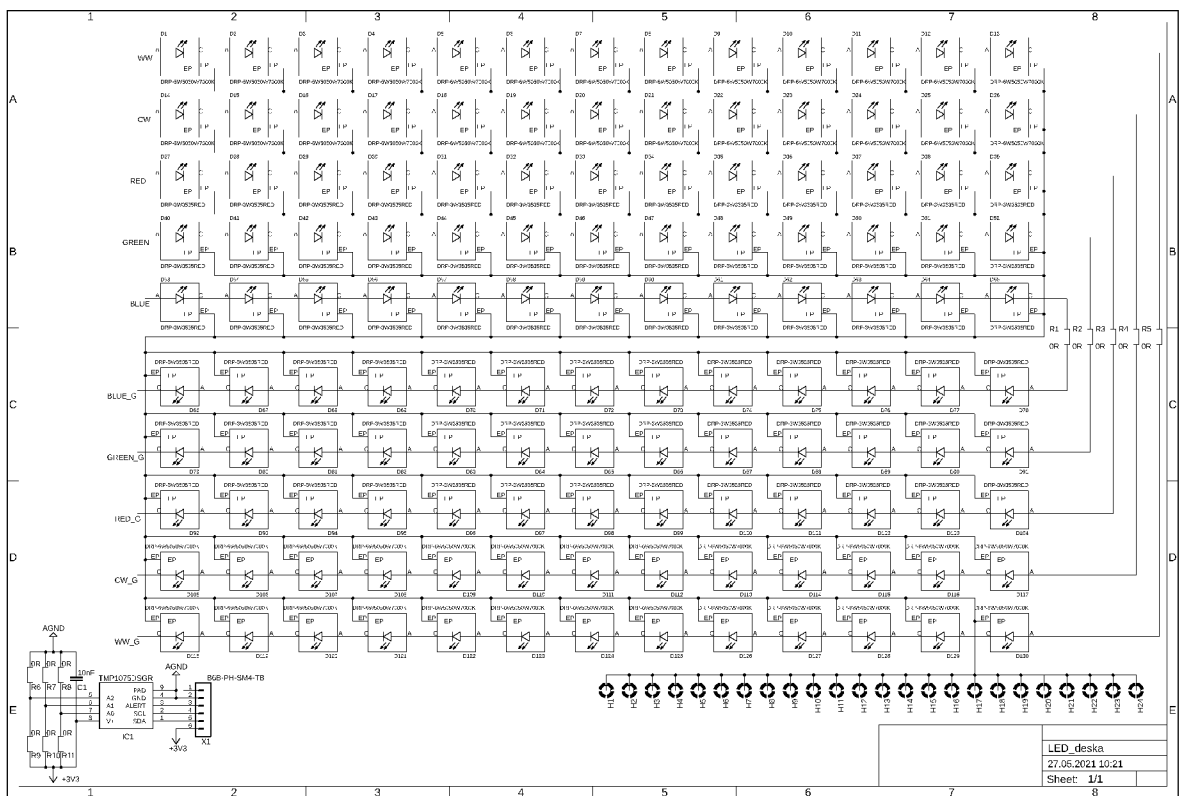


Obr. 7.9: TOP osazovací plán budiče LM3409.

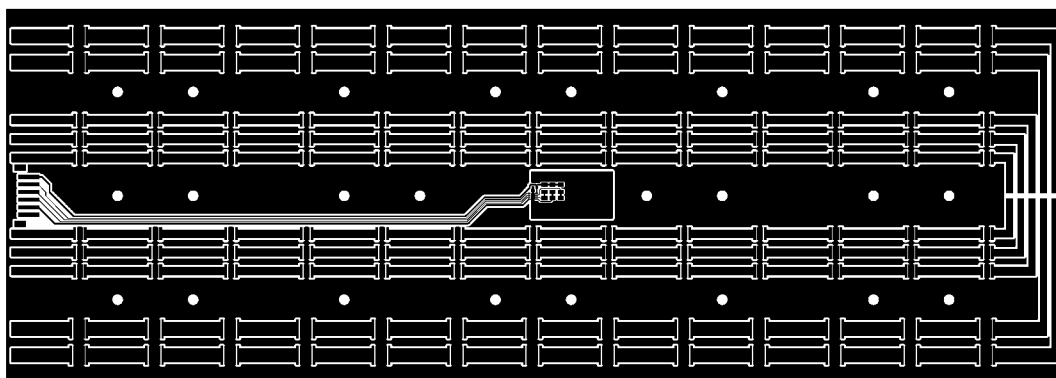


Obr. 7.10: BOTTOM osazovací plán budiče LM3409.

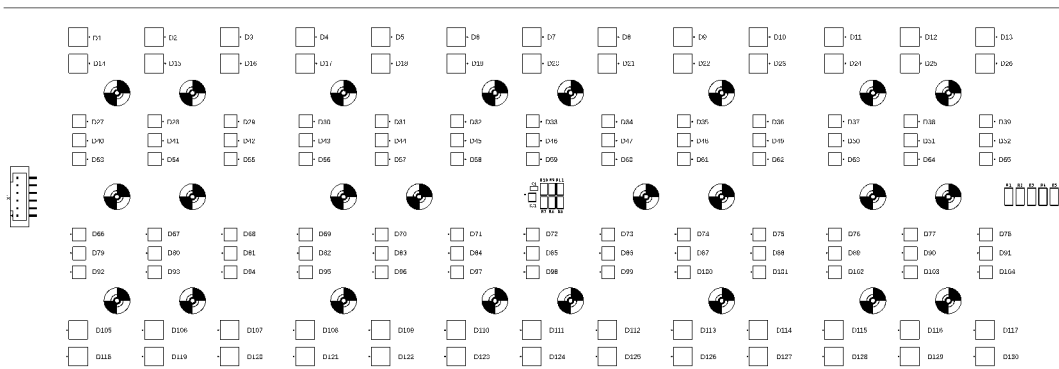




Obr. 7.11: Schéma zapojení LED desky.



Obr. 7.12: TOP vrstva LED desky.



Obr. 7.13: TOP osazovací plán LED desky.