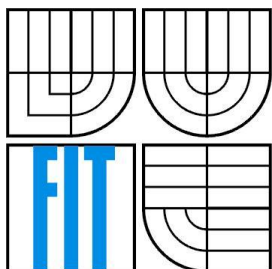


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

# ŘÍZENÍ STMÍVÁNÍ LED ČIPŮ A PÁSKŮ SYSTÉMEM DALI A DMX

DIMMING CONTROLLER FOR LED CHIPS AND STRIPES IN DALI AND DMX SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BENJAMÍN KOVÁCS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VÁCLAV ŠIMEK

BRNO 2012

**Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií**

Ústav počítačových systémů

Akademický rok 2011/2012

**Zadání bakalářské práce**

Řešitel: **Kovács Benjamín**

Obor: Informační technologie

Téma: **Řízení stmívání LED čipů a pásků systémem DALI a DMX**

**Dimming Controller for LED Chips and Stripes in DALI and DMX Systems**

Kategorie: Vestavěné systémy

Pokyny:

1. Seznamte se s problematikou realizace světelné techniky na bázi LED diody a technickými aspekty jejího řízení.
2. Podrobně nastudujte vlastnosti systému DALI pro realizaci inteligentní elektroinstalace v obytných prostorech.
3. Připravte detailní koncepci přípravku pro řízení světelných zdrojů využívajících LED diod. Zařízení bude disponovat třemi výstupnými kanály. Ovládání je třeba řešit v návaznosti na systém DALI, DMX, i pomocí sady tlačítek.
4. V návrhovém systému vytvořte schéma zapojení a návrh motivu desky plošných spojů.
5. Implementujte nezbytný obslužný firmware pro vytvořené zařízení a vhodným způsobem demonstруйте jeho funkčnost.
6. Vyhodnoťte dosažené výsledky a zvažte případná rozšíření.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.
- Řešitel projektu obdrží podrobnou zadávací dokumentaci od firmy Elko EP.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Splnění bodů 1-3 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Šimek Václav, Ing.**, UPSY FIT VUT

Datum zadání: 1. listopadu 2011

Datum odevzdání: 16. května 2012

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
Fakulta informačních technologií  
Ústav počítačových systémů a sítí  
612 66 Brno, Božetěchova 2

---

doc. Ing. Zdeněk Kotásek, CSc.  
vedoucí ústavu

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zaměřuje na vývoj stmívacího zařízení LED čipů a pásků ovládaného systémem DALI a DMX pro firmu ELKO EP. Byl vytvořený firmware a hardware, který je schopný stmívat tři nezávislé kanály s konstantním proudem vhodným pro vysoce výkonné LED čipy. Firmware byl implementovaný v jazyce C a hardware byl navržen pomocí vývojového kitu LPCXpresso od firmy NXP.

## **Abstract**

Bachelor's thesis deals with development of dimming controller for LED chips and stripes controlled with DALI and DMX systems for ELKO EP company. The firmware and hardware was created, which can handle three individual channels with constant current dimming, capable to dim High Power LED. Firmware was implemented in language C and hardware was developed with LPCXpresso kit from NXP.

## **Klíčová slova**

DMX, DALI, Vysoce výkonná LED, ELKO EP, PWM, LPCXpresso, Konstantní proud

## **Keywords**

DMX, DALI, High Power LED, ELKO EP, PWM, LPCXpresso, Constant current

## **Citace**

Kovács Benjamín: Riadenie a stmievanie LED čipov a pásov systémom DALI a DMX, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012

# Riadenie a stmievanie LED čipov a pásov systémom DALI a DMX

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Václava Šimeka  
Další informace mi poskytli ve firmě ELKO EP.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Benjamín Kovács  
10.mája 2012

## Pod'akovanie

Týmto by som chcel poďakovať Ing. Václavovi Šimekovi za poskytnutú pomoc, konzultácie, podporu v bakalárskej práci. Ďalej by som sa chcel poďakovať Jaromírovi Prikrylovi a Petrovi Štřebovi z firmy ELKO EP za poskytnuté podklady, konzultácie a pomoc pri návrhu zariadenia.

© Benjamín Kovács, 2012

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| Obsah.....                                     | 1  |
| 1 Úvod.....                                    | 3  |
| 2 Zadanie od firmy ELKO EP a prehľad trhu..... | 5  |
| 2.1 Produkty od firmy ELKO EP .....            | 5  |
| 2.2 Prehľad trhu .....                         | 5  |
| 2.3 Iné stmievače LED .....                    | 6  |
| 3 DMX512.....                                  | 8  |
| 3.1 Predstavenie protokolu .....               | 8  |
| 3.2 Topológia systému.....                     | 9  |
| 3.3 Protokol .....                             | 10 |
| 3.3.1 Formát paketu .....                      | 10 |
| 3.3.2 Časovanie paketov .....                  | 11 |
| 4 DALI.....                                    | 12 |
| 4.1 Predstavenie protokolu .....               | 12 |
| 4.2 Topológia systému.....                     | 13 |
| 4.3 Protokol .....                             | 14 |
| 4.3.1 Elektrická charakteristika .....         | 15 |
| 4.3.2 Formát paketov .....                     | 15 |
| 4.3.3 Formát adresy zariadenia.....            | 17 |
| 4.3.4 Dali príkazy .....                       | 18 |
| 4.4 Adresovanie .....                          | 19 |
| 4.4.1 Adresovanie náhodnou adresou.....        | 19 |
| 4.4.2 Adresovanie fyzickou činnosťou.....      | 19 |
| 5 Osvetlenie pomocou LED.....                  | 20 |
| 5.1 Typy LED .....                             | 20 |
| 5.1.1 Miniatúrne LED.....                      | 20 |
| 5.1.2 Vysokovýkonné LED .....                  | 21 |
| 5.1.3 RGB LED .....                            | 22 |
| 5.2 Výhody a nevýhody.....                     | 23 |
| 5.2.1 Výhody .....                             | 23 |
| 5.2.2 Nevýhody.....                            | 23 |
| 5.3 Stmievanie .....                           | 24 |
| 5.3.1 PWM.....                                 | 24 |
| 5.3.2 Stmievanie s konštantným napätím .....   | 25 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.3.3 | Stmievanie s konštantným prúdom.....         | 25 |
| 5.3.4 | Krivka stmievania.....                       | 26 |
| 5.4   | Mikrokontroléry rady LPC 111x .....          | 26 |
| 5.5   | Periférie a vlastnosti mikrokontroléru ..... | 27 |
| 5.6   | Vývoj aplikácie.....                         | 28 |
| 5.6.1 | LPCXpresso.....                              | 28 |
| 5.6.2 | Prostredie IDE .....                         | 29 |
| 6     | Hardware.....                                | 30 |
| 6.1   | Napájanie.....                               | 31 |
| 6.2   | DALI.....                                    | 32 |
| 6.3   | DMX.....                                     | 34 |
| 6.4   | Signalizácia, gombíky a prepínače .....      | 35 |
| 6.5   | Výkonová časť.....                           | 36 |
| 6.5.1 | Konštantné napätie.....                      | 36 |
| 6.5.2 | Konštantný prúd.....                         | 36 |
| 6.6   | Plošný Spoj.....                             | 39 |
| 6.7   | Cenová kalkulácia.....                       | 40 |
| 7     | Implementácia Firmwaru .....                 | 41 |
| 7.1   | Základný princíp fungovania .....            | 42 |
| 7.2   | Ovládanie a nastavovanie zariadenia.....     | 43 |
| 7.3   | Kontrolná signalizácia .....                 | 43 |
| 7.4   | Generovanie PWM .....                        | 44 |
| 7.5   | DMX.....                                     | 44 |
| 7.6   | DALI.....                                    | 45 |
| 7.6.1 | Spracovanie signálov na zbernici .....       | 47 |
| 7.6.2 | Komunikácia s pamäťou.....                   | 47 |
| 7.6.3 | Spracovanie prijatých údajov.....            | 48 |
| 7.6.4 | Riadenie výkonu a stmievanie kanálov.....    | 49 |
| 7.6.5 | Testovanie protokolu .....                   | 49 |
|       | Záver.....                                   | 50 |
|       | Literatúra .....                             | 51 |
|       | Zoznam príloh.....                           | 53 |
|       | Príloha A.....                               | 54 |
|       | Príloha B.....                               | 58 |
|       | Príloha C.....                               | 61 |
|       | Príloha D.....                               | 64 |
|       | Príloha E .....                              | 68 |

# 1 Úvod

V dnešnej dobe sa veľmi rýchlo rozširuje technológia LED(Light-emitting diode). Klasické, halogénové a aj úsporné žiarovky sú energeticky náročné a ľudia hľadajú a vyvíjajú stále úspornejšie riešenia na svietenie. Daná technológia má širokú škálu použitia. Najviac sa používa na dekoračné osvetlenie ale častejšie ich nájdeme aj ako hlavný zdroj svetla v interiéri alebo ako zdroj svetla v automobile.

LED je napájaný menším napätím ako je v sieti 220V. Je vhodné použiť zdroj, ktorý zníži napätie alebo dodá konštantný prúd. Existujú dva typy diód. Miniaturne LED ktoré sa používajú napr. ako signalizácia v zariadeniach a vysokovýkonné diódy, ktoré sú vhodné na osvetlenie.

Pre reguláciu intenzity svetla je vhodné použiť zariadenie na stmievanie. Podľa typu LED a zapojenia. máme príslušné spôsoby regulácie. Základom regulácie intenzity svetla, ktorú riadi mikrokontrolér je PWM (Pulse-width modulation, pulzne-šírková modulácia). Zakladá sa na veľmi rýchlom zapínaní a vypínaní diódy. Regulácia spôsobuje blikanie, ktoré je pre ľudské oko neviditeľné. Podľa spôsobu zapojenia a typu LED rozlišujeme reguláciu s konštantným napätím a konštantným prúdom.

Systém DMX512 je veľmi rozšírený, najmä pri osvetľovacej javiskovej technike. Využitie sa nájde aj pri dekoračnom osvetlení. Štandard bol navrhnutý v roku 1986 spoločnosťou USITT a slúži na riadenie osvetľovacej a inej techniky cez protokol ktorého základ pochádza z EIA-485. DMX512 používa jednosmernú komunikáciu, rozšírením je štandard DMX512-A, ktorý podporuje obojsmernú komunikáciu.

Systém DALI(Digital Addressable Light Interface) je cenovo drahší a jeho použitie vyžaduje viacej zariadení. Slúži na riadenie osvetľovacej techniky v budovách. Komunikácia prebieha cez zbernicu, zloženú z dvoch vodičov a je napájaná zdrojom.

Rodina mikrokontrolérov rady LPC11xx(lpc1111/12/13/14) je založená na jadre ARM(Advanced RISC Machine) Cortex M0. Tieto lacné 32-bitové mikrokontroléry sú určené pre energeticky nenáročné aplikácie. Jednotlivé verzie sa líšia v kapacite pamäte a v rozmere puzdra. Obsahujú rôzne rozhrania pre komunikáciu s okolím ako napr. tie ktoré sme použili I2C, UART a EIA-485.

Zadanie bakalárskej práce pochádza od firmy ELKO EP. Cieľom je vytvoriť novú produktovú radu výrobkov pre stmievanie LED čipov, pásov a svietidiel ktoré sú napájané jednosmerným napätím. Ovládanie a riadenie výstupov je realizované pomocou systémov DMX a DALI. Aktor obsahuje 3 výstupné kanály, je možné použiť RGB LED a zmiešavať farbu svetla. Zariadenie bude dostupné vo vyhotoveniach 3M a BOX. Zariadenie musí byť vhodné na komerčný predaj. Obsahuje tepelnú, skratovú ochranu a ochranu proti prepólovaniu. Nastavenie prebieha

pomocou tlačidiel a prepínačov na prednej strane a spätná väzba je riešená pomocou kontrolných LED.

Bakalárska práca je rozdelená na dve časti. V prvej časti sa budeme zaoberať podrobne so systémom DMX a DALI. Popisujeme princíp systému, reálne použitie a zapojenie, spôsob komunikácie zariadení a spracovanie paketov. V tejto časti rozvineme tematiku o problematike stmievania LED čipov a bližšie predstavíme použitú radu mikrokontrolérov.

V druhej časti sa nachádza popis hardwaru a firmwaru. Rozoberieme jednotlivé časti hardwaru a programu, spôsob riešenia ovládania a spracovania signálov.



## **2 Zadanie od firmy ELKO EP a prehľad trhu**

Cieľom bakalárskej práce je vytvoriť novú produktovú radu výrobkov – stmievače pre LED čipy a pásy. Zariadenie komunikuje s okolím cez protokol DMX a DALI. Aktor bude vo dvoch verziách BOX a 3M DIN. Verzie sú rozdielne len vo veľkosti a výkone koncového stupňa.

Pri návrhu je potrebné brať do úvahy možnosť komerčného predaja produktu. Je nutné riešiť ochrany, ktoré zabezpečia odolnosť zariadenia pri nesprávnom zaobchádzaní. Cenová kalkulácia by nemala prekročiť limit 500CZK za použitý materiál pri odberoch 1000kusov ročne. Do tejto kalkulácie sa nezapočítavajú SMD kondenzátory, odpory apod. .

### **2.1 Produkty od firmy ELKO EP**

V dobe písania tejto práce Firma ELKO EP neponúkala žiadne zariadenie, komerčne dostupné, ktoré komunikuje cez protokol DMX alebo DALI. Podobný systém majú iba Inels RF a Inels BUS. Inels BUS je veľmi podobný systému DALI. Hlavný rozdiel spočíva v zapojení systému a princípe fungovania zariadení. Pri Inels existuje hlavná jednotka ktorá riadi aktory na rozdiel od DALI kde neexistuje centrálna jednotka, ale každý aktor je naprogramovaný, uchováva údaje a komunikuje s ostatnými.

Medzi produktmi danej firmy sa nachádza veľa druhov stmievacích aktorov. Niektoré sú vhodné aj pre LED diódy (DIM-15). Všetky stmievače pracujú s vysokým napätím a striedavým prúdom a ani jeden nie je vhodný pre LED napájané jednosmerným nízkym napätím.

### **2.2 Prehľad trhu**

Na trhu existuje veľa podobných produktov. LED stmievače ovládané cez DMX sú veľmi rozšírené v osvetľovacej javiskovej technike. Nájde sa tu veľa zariadení s rôznym výkonom a v rôznom prevedení od zariadení podporujúce 1 stmievajúci kanál až po zariadenia s 12 kanálmi (Showtec LED-Dim 1, CHROMOFLEX-DMX-STRIPE).

DALI je rozšírené najmä pri stmievaní neónových trubíc. Nájde sa tu menej produktov na stmievanie LED (LTECH LT-401).

Vzhľadom k ekonomickému stavu vo svete sa veľa vecí vyrába v Číne. Aj LED čipy sa stále vyrábajú práve v Číne alebo v okolitých krajinách za veľmi nízku cenu a stále vo väčšom množstve.

Takisto tu nájdeme aj veľmi lacné ovládače ako napr. PX24506 DMX LED aktor, ktorý sa dá kúpiť za menej ako 500CZK(23USD).

Existujú aj zariadenia ktoré podporujú oba protokoly. Takéto zariadenia sú však veľmi drahé. Zariadenie eldoLED PWR045D1 POWERdrive DC ktoré podporuje tieto protokoly stojí okolo 2700CZK (113EUR). Ďalšia možnosť je použiť prevodník DALI-DMX (MBNLED DALI-DMX), ale tento spôsob predraží celú inštaláciu.

## 2.3 Iné stmievače LED

Okrem stmievačov komunikujúcich cez DALI alebo DMX existujú zariadenia ktoré používajú rozličné protokoly.

Najviac rozšírený je analógový spôsob ovládania pomocou 0-10V. Funguje na princípe zmeny vstupného napätia na ovládací vstup v rozsahu 0-10V. Je veľmi jednoduchý a patrí medzi prvé spôsoby ovládania osvetľovacej techniky.

Existuje niekoľko firiem ktoré majú vlastnú zbernicu a komunikujú na nej len zariadenia od danej firmy. Ako napríklad aj od ELKO EP systém Inels BUS, produkty od firmy Creston alebo systémy X10 a KNX. K takýmto systémom je možné dokúpiť prevodníky z danej zbernice na systém 0-10V alebo na iné. U Inels je to zariadenie DAC2-04M, ktorý poskytuje 4 výstupné kanály.



Obrázok 2.1 Inels DAC2-04M[18]

Okrem inteligentných inštalácií sa používajú aj stmievače, ktoré sa ovládajú cez diaľkový ovládač, pomocou tlačidiel na zariadení alebo majú v sebe naprogramovaný program na blikanie a stmievanie. Sú vhodné do inštalácií kde sa ovláda menší počet LED a nevyžaduje sa veľká možnosť konfigurácie. Najlacnejšie stmievače sú ovládané cez infračervený diaľkový ovládač a drahšie cez rádiové frekvencie.



**Obrázok 2.2 LED Ovládače**

## 3 DMX512

Táto kapitola slúži k vysvetleniu protokolu DMX512. Popisuje históriu vzniku a počiatkový vývoj protokolu. Zaoberá sa formátom paketov, časovaním, a zapojením jednotlivých zariadení na zbernicu a konektormi, ktorými sú zariadenia spájané. Protokol je schopný prenosu až 512 kanálov.

### 3.1 Predstavenie protokolu

Každá firma zaoberajúca sa osvetlením mala v minulosti vlastný protokol na stmievanie a ovládanie zariadení, ktoré neboli vzájomne kompatibilné. Protokol DMX512 vznikol s cieľom vytvoriť protokol, ktorý bude jednotný. Bola vyvinutá spoločnosťou USITT. Prvá verzia vznikla v roku 1986. Táto verzia podporovala len stmievacie jednotky a neslúžila na ovládanie iných zariadení. Výrobcovia, ktorí používali DMX512 sa nedržali striktne štandardu a tak sa znovu stal vzájomne nekompatibilný. Ďalšie revízie nasledovali v roku 1990 a v 2004, ktorá sa používa dodnes a podporovala ovládanie aj iných zariadení, nie len stmievačov. Protokol je založený na EIA-485 ktorý zaisťuje plnú kompatibilitu. Ďalším rozšírením bol protokol DMX512-A ktorý podporuje obojsmernú komunikáciu oproti DMX512 ktorý podporuje iba jednosmernú komunikáciu.

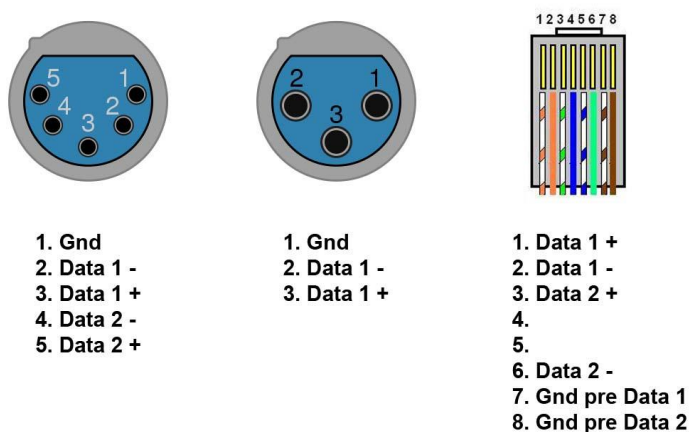
DMX512 popisuje spôsob digitálnej komunikácie medzi zariadeniami. Používa sa hlavne pri javiskovej technike na ovládanie osvetľovacej techniky, pyrotechniky, dymostrojov a podobných zariadení. Sériová komunikácia je založená na elektrickej špecifikácii EIA-485(RS458)[1]. Je možné ovládať až 512 kanálov na jednej zbernici. Ovládanie prebieha pomocou jednosmernej komunikácie kde sa hodnoty jednotlivých kanálov posielajú v časovom multiplexe za sebou.

Pri zariadeniach určených pre komerčný predaj nie je potrebné platiť licenčné poplatky.

## 3.2 Topológia systému

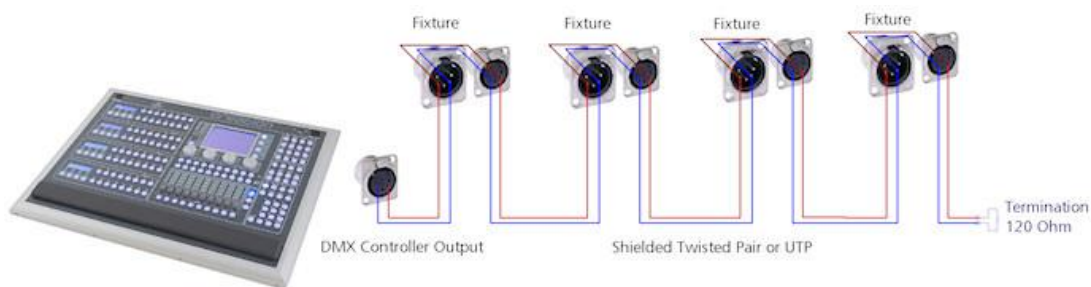
Základné vlastnosti plynú zo špecifikácie EIA-458[1]. Zbernica je realizovaná krútenou dvojlinkou na ktorej je diferenciálny signál. Signál je výsledok rozdielu napätia na dvoch vodičoch. Dĺžka zbernice je obmedzená na 1200m a na 32 zariadení na zbernici. Ak je potrebné pripojiť viacej zariadení na jednu zbernicu tak je možné použiť opakovač(repeater) signálu.

Podľa prvej špecifikácie by sa mal používať 5 pinový XLR konektor. Výrobcovia často používali vlastné konektory. Do novej špecifikácie pribudla možnosť použiť aj iné konektory, akým je 3 pinový XLR konektor alebo RJ-45, s ktorým prišla aj možnosť použiť kábel cat5[1]. V našom zariadení sa zbernica pripája priamo na svorkovnicu bez použitia konektorov.



Obrázok 3.1 Konektory DMX

Topológia je zbernicová a každé zariadenie má vstup a výstup. Preto je obvyklé zapájať zariadenia paralelne za sebou, rozbočovače umožňujú aj iné zapojenie. Pre eliminovanie parazitných napätí sa používa v koncovom zariadení terminátor, ktorý predstavuje 120Ω odpor. Kvôli dokonalosti súčasných zariadení, zbernica funguje aj bez terminátora, ale odporúča sa ho použiť.



Obrázok 3.2 Jednoduché zapojenie DMX zariadení[17]

## 3.3 Protokol

Prenos je realizovaný asynchrónnou sériovou linkou s prenosovou rýchlosťou 250kbaud(Kbitov/s). Paket sa skladá z 11bitov. Hodnoty jednotlivých slotov sú posielané za sebou sekvenčne od 0 až po 512. Slot 0 sa nazýva START kód a identifikuje začiatok novej sekvencie dát a definuje vlastnosti dát ktoré budú za ním nasledovať. Pri väčšine zariadení sa používa NULL START kód. Slot 1 až 512 určuje hodnotu jednotlivých kanálov[2]. Kontrola a oprava chýb nie je implementovaná. Ani detekciu kolízie neobsahuje protokol lebo stále na zbernici je iba jedno vysielajúce zariadenie MASTER. S týmito vlastnosťami je to veľmi jednoduchý spôsob ovládania zariadení ktorý, sa ľahko implementuje aj v hardwari aj v softwari.

### 3.3.1 Formát paketu

Na zbernicu je posielaných 513 dátových slotov ktoré obsahujú hodnoty jednotlivých kanálov a slot 0 obsahujúci START kód. Formát jednotlivých dátových slotov je zobrazený v Tabuľka 3.1.

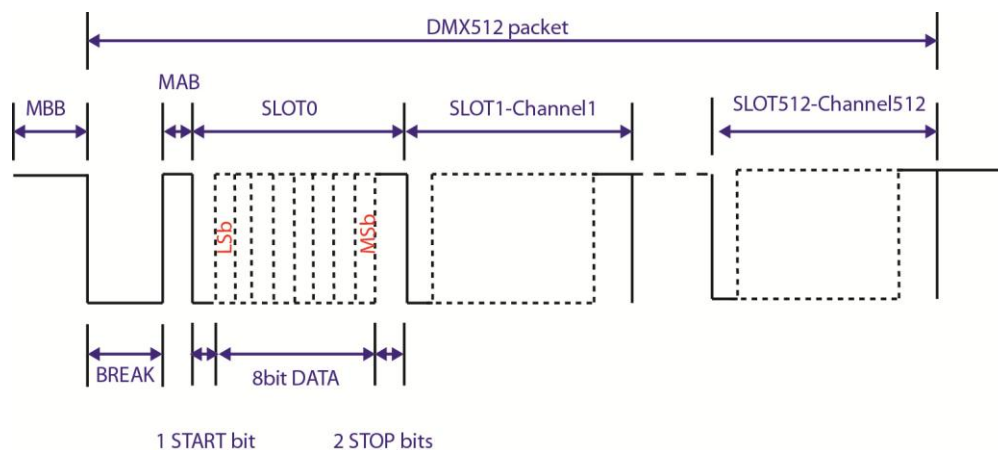
| Pozícia | Popis     |
|---------|-----------|
| 0       | Start bit |
| 1-8     | Data bity |
| 10-11   | Stop bity |

Tabuľka 3.1 Rozloženie bitov v DMX pakete[1]

Sloty obsahujú hodnoty od 0 až po 255. Podľa týchto hodnôt sa riadia jednotlivé zariadenia ktoré ich spracujú a vyhodnotia ako napr. intenzita svitu, rýchlosť alebo poloha motorčeka. Hodnota 0 pri zariadení na stmievanie znamená vypnuté svetlo a hodnota 255 znamená, že svetlo svieti na plný výkon[2].

### 3.3.2 Časovanie paketov

Na Obrázok 3.3 Formát jednej sekvencie v protokole DMX[1] je zobrazená jedna sekvencia dát pomocou ktorej komunikujú zariadenia DMX. Daná sekvencia sa posiela približne 44 krát za sekundu.



Obrázok 3.3 Formát jednej sekvencie v protokole DMX[1]

**BREAK** určuje začiatok nového dátového paketu.

**MARK AFTER BREAK** oddeľuje BREAK od START kódu

| Skratka | Názov             | Min.         | Typ.        | Max.         |
|---------|-------------------|--------------|-------------|--------------|
|         | Bit time          | 3,92 $\mu$ s | 4 $\mu$ s   | 4,08 $\mu$ s |
| MBB     | Mark Before Break | 0s           |             | <1,00s       |
| BREAK   | Break             | 92 $\mu$ s   | 176 $\mu$ s |              |
| MAB     | Mark After Break  | 12 $\mu$ s   |             | <1,00s       |
|         | DMX512 packet     | 1204 $\mu$ s |             | 1,00s        |

Tabuľka 3.2 Dĺžka jednotlivých zložiek DMX paketu[2]

# 4 DALI

Táto kapitola predstavuje protokol DALI, jeho použitie, topológiu a popisuje dátové pakety slúžiace na komunikáciu zariadení. Podrobnejšie sa zaoberá paketmi, ktoré používa SLAVE zariadenie a spôsob adresovania zariadenia a komunikáciu cez adresovacie pakety.

## 4.1 Predstavenie protokolu

DALI je systém pre ovládanie osvetlenia v budovách, pomocou DALI zariadení je možné vytvoriť efektívny a decentralizovaný systém riadenia osvetlenia. Tento systém vznikol s cieľom nahradiť analógový spôsob ovládania 0-10V, digitálnym. Zariadenia ktoré podporujú DALI protokol sú vzájomne kompatibilné a nezávislé na výrobcovi. Oproti klasickej inštalácii má niekoľko výhod:

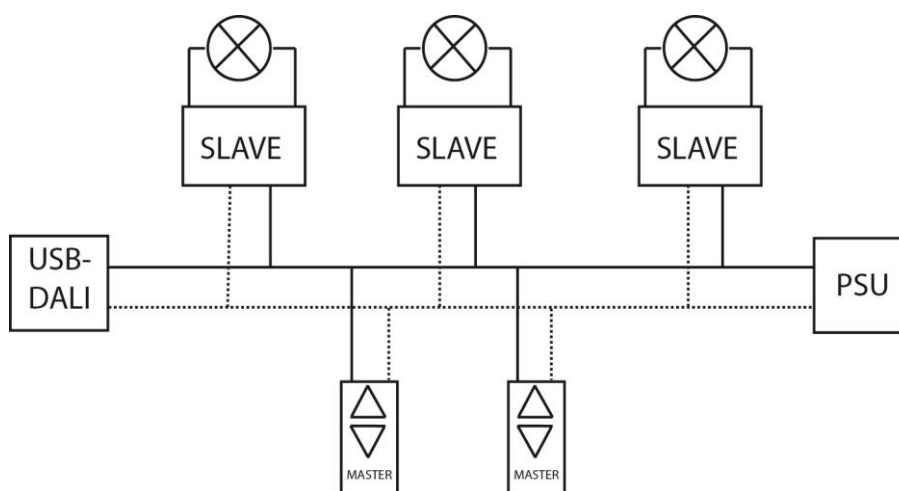
- Jednoduché zapojenie
- Možné je ovládať jedno zariadenie alebo celú skupinu zariadení
- Možnosť vytvárať svetelné scény
- Nevzniká rušenie vďaka jednoduchosti protokolu
- Možnosť monitorovať koncové zariadenia.

Výrobcovia, ktorí používajú protokol DALI sú združení do obchodného spolku AG-DALI[4]. Členstvo v skupine AG-DALI je nevyhnutné, ak zariadenie bude používať ochrannú známku DALI. Ročný poplatok činí 3000Eur a obsahuje aj možnosť zúčastniť sa zhromaždení skupiny. Informácie mi poskytol Peter Helfmann zo skupiny AG-DALI.



## 4.2 Topológia systému

Komunikácia prebieha cez zbernicu, ktorá sa skladá z dvoch vodičov. Zbernica je napájaná zdrojom napätia a na nej sú pripojené MASTER a SLAVE zariadenia. MASTER slúži na ovládanie SLAVE zariadení a SLAVE zariadenia slúži na ovládanie, stmievanie žiarovky a v našom prípade LED. Programovanie jednotlivých zariadení prebieha pomocou programátora(USB-DALI), ktorý nastaví jednotlivé parametre zariadení.

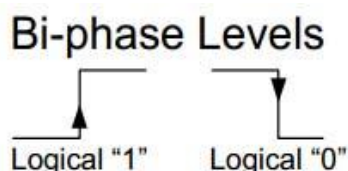


Obrázok 4.1 Topológia DALI

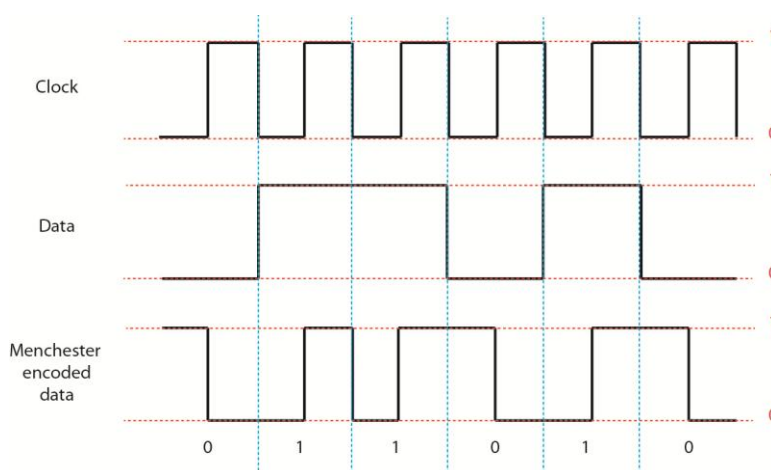
Na zbernicu je možné pripojiť 64 SLAVE zariadení s individuálnou adresou a 64 MASTER zariadení. Jednotlivé zariadenia môžu byť priradené do 16 skupín[4].

## 4.3 Protokol

Údaje sú prenášané cez asynchrónnu, polo-duplexnú sériovú linku ktorá používa bi-fázové(vid. Obrázok 4.2) Manchesterské kódovanie bitov (vid. Obrázok 4.3). Logická jednotka a nula je zakódovaná prechodom z 0 do 1 alebo z 1 do 0, tento signál nesie aj hodinový signál ktorý je možné jednoducho odvodiť.



Obrázok 4.2 Bi-fázové kódovanie bitov[5]



Obrázok 4.3 Manchesterské kódovanie

Takto je zaistené, že aj vo veľmi zarušenom priestore bude systém spoľahlivo fungovať. Rýchlosť prenosu je 1200b/s +-10% a dĺžka jedného bitu (prechod 1→0,0→1) je  $2TE = 833.3\mu s$ . Komunikácia prebieha cez 3, 2 a 1bajtové správy. Cez 3bajtové správy komunikujú MASTER zariadenia, pomocou 2bajtových správ prebieha komunikácia smerom od MASTER ku SLAVE a 1bajtová správa slúži ako odpoveď od SLAVE zariadenia ku MASTER. Naše zariadenia používa iba 2 a 1bajtové správy[5].

### 4.3.1 Elektrická charakteristika

Logická 0 je reprezentovaná napät'ovou úrovnou 0V alebo s rozsahom napätia -4,5V až +4,5V a logická 1 je reprezentovaná napät'ovou úrovnou 16V alebo s rozsahom napätia od 9,5V až 22,5V. Najväčší pokles napätie medzi zariadeniami je 2V a maximálny prúd na zbernici je 250mA[4]. Maximálna vzdialenosť medzi dvoma zariadeniami je 300m a odporúčaná hrúbka vodičov je v Tabuľka 4.1.

| Dĺžka    | Prierez vodiča |
|----------|----------------|
| Do 100m  | 0,5mm          |
| 100-150m | 1,0mm          |
| Nad 150m | 1,5mm          |

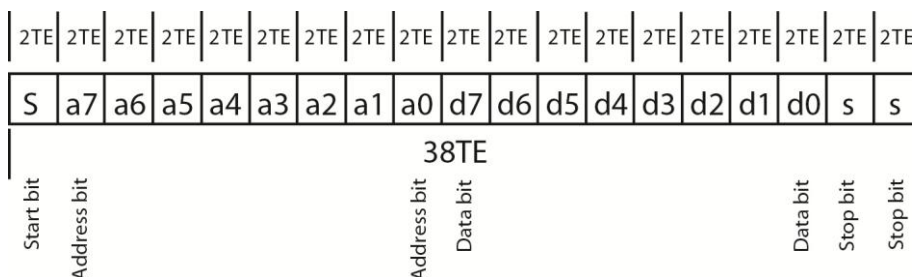
Tabuľka 4.1 Prierez vodičov zbernice DALI[4]

### 4.3.2 Formát paketov

#### Od MASTER ku SLAVE forward paket

Paket sa skladá z 19 bitov.

- 1 štartovací bit
- 1 adresový bajt
- 1 dátový bajt
- 2 stop bity.

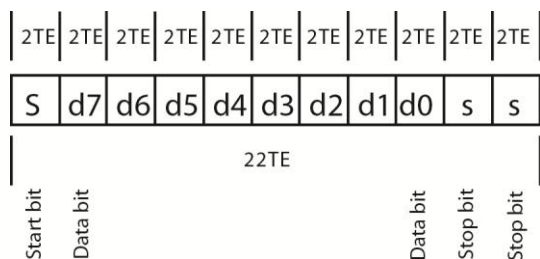


Obrázok 4.4 Formát Forward Paketu DALI[5]

### Od SLAVE ku MASTER backward paket

Paket sa skladá z 11 bitov.

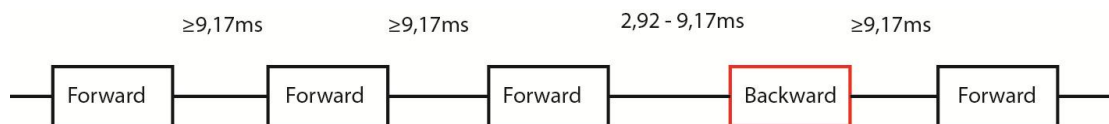
- 1 štartovací bit
- 1 dátový bajt
- 2 stop bity



Obrázok 4.5 Formát Backward Paketu DALI[5]

### Dodatočné časovanie paketov a správa kolízií

Medzi dvoma forward paketmi musí byť aspoň 9,17ms a medzi forward a backward musí byť aspoň 2,92ms ale maximálne 9,17ms. V tejto dobe zariadenie ktoré poslalo forward paket čaká na backward odpoveď, ak odpoveď nedostala tak sa automaticky považuje za negatívnu odpoveď. Minimálny čas medzi backward paketom a forward paketom je 9,17ms.



Obrázok 4.6 Časovanie medzi Forward a Backward paketom v DALI[7]

Aby sa predišlo kolíziám na zbernici, je v DALI zavedená priorita paketov. Celkovo 5 priorit, Najvyššia priorita je s číslom 0 a najnižšia s číslom 1. V Tabuľka 4.2 sú uvedené časy v ktorých sa začne vysielat' paket s danou prioritou.

| Priorita | Čas od posledného paketu |
|----------|--------------------------|
| 0        | 12ms                     |
| 1        | 13ms                     |
| 2        | 14ms                     |
| 3        | 15ms                     |
| 4        | 16ms                     |

Tabuľka 4.2 Priorita Paketov DALI[5]

V našom prípade nie je potrebné riešiť prioritu paketov, ktorá hrá dôležitú úlohu iba v MASTER zariadení a v programátore.

V prípade keď na zbernici je viacej MASTER zariadení, detekcia kolízie sa rieši stálym monitorovaním zbernice. Keď prvé zariadenie posiela paket a zistí, že aj druhé zariadenie posiela iný paket, nastala kolízia, prvé zariadenie preruší odosielanie a druhé dokončí svoju činnosť.

### 4.3.3 Formát adresy zariadenia

Každé zariadenie má krátku individuálnu adresu, môže patriť do niektorých skupín a zároveň je ho možné ovládať cez broadcast adresu ktorá adresuje každé zariadenie. Formát adresy je v Tabuľka 4.3.

| Formát adresového bajtu | Typ adresy            |
|-------------------------|-----------------------|
| YAAAAAAS                | Obecný formát         |
| 0AAAAAAS                | Krátka adresa AAAAAA  |
| 100AAAAS                | Skupinová adresa AAAA |
| 111111S                 | Broadcast adresa      |

Tabuľka 4.3 Adresovanie v pakete DALI[7]

Bit Y udáva typ adresy.

Y = 1 Skupinová adresa, broadcast adresa alebo špeciálny príkaz

Y = 0 Krátka adresa

Bit S udáva typ informácie v dátovej časti paketu.

S = 1 Dátová časť obsahuje príkaz

S = 0 Dátová časť obsahuje hodnotu intenzity osvetlenia (arc power)

V adresovej časti paketu sa posielajú aj špeciálne príkazy ktoré sú tvaru 101CCCC1 alebo 110CCCC1[7].

### 4.3.4 Dali príkazy

Príkazy môžeme rozdeliť do štyroch skupín:

1. Ovládacie príkazy
2. Nastavovanie príkazy
3. Dotazovacie príkazy
4. Špeciálne príkazy

(vid. Príloha B)

Pomocou ovládacích príkazov ovládame intenzitu osvetlenia buď priamo alebo nepriamo. Priamo nastavujeme úroveň osvetlenia ak v adresovej časti platí bit  $S = 1$ .

Konfiguračné príkazy nastavujú vlastnosti a chovanie zariadenia. Tieto nastavenia sa ukladajú do trvalej pamäte, ktorá zachováva údaje aj po odpojení zariadenia od napájania. Okrem hodnôt ktoré sem ukladajú konfiguračné nastavenia sa sem ukladá aj krátka adresa zariadenia.

Dotazovacie príkazy zisťujú stav zariadenia. SLAVE zariadenie na ne odpovedá backward paketom.

Špeciálne príkazy sú identifikované podľa adresového bajtu. Tieto príkazy slúžia hlavne na pridelenia adresy zariadeniu a komunikáciu pri adresovaní. Mimo toho obsahujú aj príkaz na uloženie hodnoty do dátového registra(DTR).

## 4.4 Adresovanie

Jednotka DALI podporuje viacej spôsobu adresovania. Buď sa v zariadení vygeneruje náhodná 24 bitová adresa a podľa nej sa inicializuje a adresuje zariadenie alebo sa musí vykonať nejaká fyzická zmena, a tým určiť na ktoré zariadenie treba nastaviť adresu.

### 4.4.1 Adresovanie náhodnou adresou

1. Pošle sa príkaz INITIALIZE (zariadenie bude možné nasledujúcich 15minút adresovať).
2. Pošle sa príkaz RANDOMIZE (zariadenie vygeneruje 24 bitovú náhodnú adresu).
3. Pomocou príkazu COMPARE a vhodného algoritmu vyhladá zariadenie s najnižšiu 24 bitovou adresou.
4. Nastaví sa unikátna krátka adresa na zariadenie pomocou príkazu PROGRAM SHORT ADDRESS
5. Overí sa naprogramovaná adresa pomocou VERIFY SHORT ADDRESS
6. Zariadenie sa odstráni z ďalšieho vyhládávania WITHDRAW
7. Tento proces sa opakuje pokiaľ nemajú všetky zariadenia pridelenú krátku adresu.
8. Ukončí sa vyhládávanie pomocou TERMINATE (zariadenie ukončí možnosť adresovania).

[9]

### 4.4.2 Adresovanie fyzickou činnosťou

1. Pošle sa príkaz INITIALIZE
2. Pošle sa príkaz PHYSICAL SELECTION
3. Opakovanie QUERY SHORT ADDRESS až pokiaľ sa nevráti odpoveď zo zariadenia že bolo vybraté
4. Naprogramovanie krátkej adresy PROGRAM SHORT ADDRESS

Fyzická činnosť pri DALI zariadeniach znamenala vloženie žiarovky. V našom prípade znamená stlačenie tlačidla na prednom paneli prislúchajúcemu ku zvolenému kanálu. [9]

# 5 Osvetlenie pomocou LED

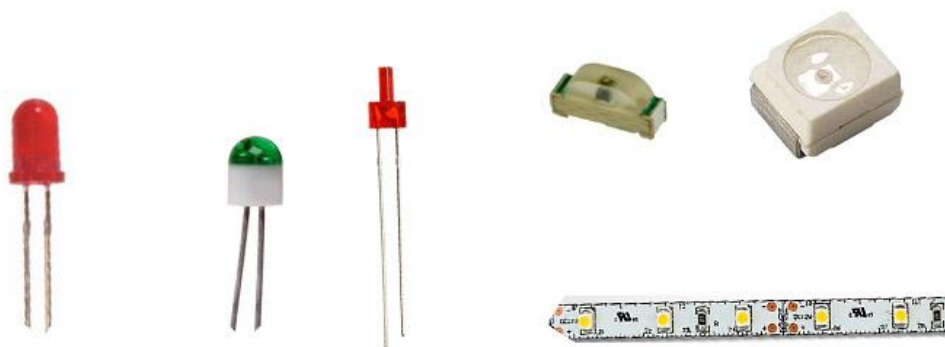
LED je polovodič s prechodom P-N ktorý pri prechode prúdu vyžaruje svetlo. V dnešnej dobe pomaly nahrádza klasické a úsporné žiarovky. Uplatnenie si nájdu pri osvetlení interiérov ako hlavný zdroj svetla alebo aj ako dekoračné osvetlenie. Rozšírené sú aj v automobiloch napr. ako denné svetlo ale už ich montujú namiesto stretávacích alebo diaľkových svetiel(AUDI, BMW). Nachádzajú sa všade okolo nás, v každom zariadení.

## 5.1 Typy LED

V tejto časti sa zoznámime s najviac používanými typmi a formami LED diód. Predstavené budú typy od diód ktoré sa používajú v zariadeniach ako signalizácia a až po vysokovýkonné ktoré sú vhodné pre osvetlenie väčšieho priestoru, majú väčšiu svietivosť a výkon nad 1W.

### 5.1.1 Miniaturne LED

Používajú sa ako signalizačné osvetlenia na zariadeniach. Majú veľmi malú spotrebu ale aj veľmi malý výkon a svietivosť. Existujú v rôznej veľkosti od 2mm až po 10mm . Stačí im malé napätie (2-5V) a malý prúd (2-100mA). Vzhľadom k elektrickým vlastnostiam neprodukujú veľké množstvo tepla a nepotrebujú chladič. Používajú sa aj na dekoračné osvetlenie v LED pásoch kde sú zapojené sériovo s predradeným odporom a napájanie prebieha pomocou zdroja s konštantným napätím. Pri použití veľkého počtu diód sú schopné nahradiť aj klasické zdroje svetla.



Obrázok 5.1 Miniaturne LED



## 5.1.2 Vysokovýkonné LED

Majú väčší výkon a svietivosť ako miniatúrne diódy. Niektoré dosahujú výkon až 100W s vysokou účinnosťou. Používajú sa tiež na dekoračné osvetlenia ale ako aj náhrada klasických žiaroviek. Napájacie napätie závisí od typu a farby diódy a napájací prúd sa pohybuje od miliampérov až po ampére. Vzhľadom k výkonu je potrebné tieto diódy chladiť. Pri slabších výkonoch stačia pasívne chladiče ale pri vysokých výkonoch(100W) je vhodné použiť aktívny chladič. Tento typ je veľmi náročný na presný prúd ktorý preteká diódou, nie je ich možné priamo napájať zo zdroja s konštantným napätím. Používa sa elektronika na obmedzenie maximálneho prúdu ktorý môže pretekať diódou alebo sú zapájané sériovo a je pripojený k obvodu zdroj s konštantným prúdom. Niektoré typy, napájacie napätia a pretekajúce prúdy zobrazuje Tabuľka 5.1.



Obrázok 5.2 Vysokovýkonné LED

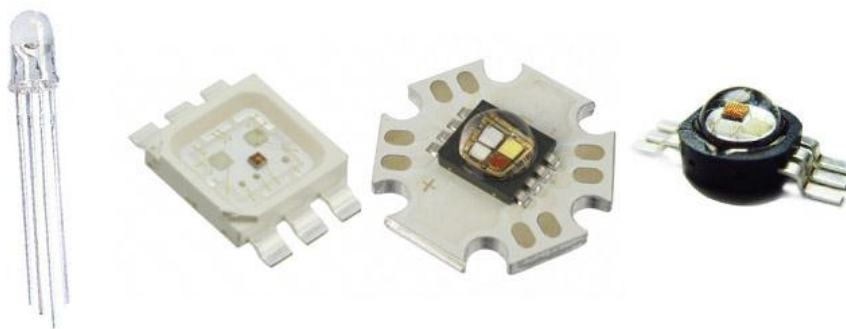
| Názov                              | Prúd(mA) | Napätie(V) |
|------------------------------------|----------|------------|
| L-LXHL-BM01                        | 350      | 3,42       |
| 1W PRO-LIGHT HIGH POWER STAR WHITE | 350      | 3,60       |
| MULTICOMP - XREWHT-L1              | 350      | 3,30       |
| CREE - XPCBLU-L1-R250-00V01        | 500      | 3,40       |
| W PRO-LIGHT HIGH POWER STAR WHITE  | 700      | 4,00       |
| L-ACULED VHL AMBER                 | 700      | 2,10       |
| LUMILEDS - LXML-PL01-0023          | 700      | 3,60       |
| OSRAM - LEWE2B-MXPX-6K8L           | 1000     | 15,00      |

Tabuľka 5.1 Vysokovýkonné LED

### 5.1.3 RGB LED

Špeciálny typ ktorý existuje aj medzi miniatúrnymi diódami a aj medzi výkonnými LED sú takzvané RGB diódy. Dióda sa skladá z 3 diód. Každá jedna pre jednu farebnú zložku červená(R), zelená (G), modrá(B). Obsahujú 4 vývody, z toho 3 pre jednotlivé zložky a jedna spoločná alebo obsahujú 6 vývodov, každá dióda má vyvedenú anódu alebo katódu. Podľa spoločného vývodu sa delia na diódy so spoločnou anódou(+) alebo katódou (-). Použitie majú ako farebné dekoračné osvetlenie alebo ako veľkoplošné zobrazovacie zariadenia.

RGB LED sa používa aj pri odstránení nedostatku bielej LED. Biele svetlo vyžarované z LED obsahuje malé spektrum vlnových dĺžok. Toto spôsobuje skreslenie farieb predmetov osvetleným LED. Pri použití RGB diódy sa biela farba vymieša z 3 zložiek a takéto svetlo obsahuje širšie spektrum vlnových dĺžok. Uplatňuje sa to napr. aj pri podsvietení LCD panelu.



Obrázok 5.3 RGB LED

## **5.2 Výhody a nevýhody**

Neexistuje zariadenie ktoré je dokonalé z každého hľadiska a dá sa všade použiť bez obmedzenia. Tomuto sa ani LED diódy nevyhli a v niektorých prípadoch je stále lepšie použiť klasickú žiarovku namiesto LED, majú svoje výhody a nevýhody. Najväčší rozdiel je v cene za svetelný výkon medzi LED a klasickými alebo úspornými žiarovkami.

### **5.2.1 Výhody**

Hlavnou výhodou LED je spotreba a produkujú viac svetla ako klasické žiarovky( až 100lm/W). Ich rozmery sú veľmi malé a ich puzdro je pevné a odolné. Pomocou puzdra je jednoducho možné smerovať svetlo a ľahko dosiahnuť úzky uhol vyžarovania bez inej optickej sústavy. Majú vysokú životnosť, aj pri použití v zariadeniach kde je potrebné tieto diódy rýchlo vypínať a zapínať. Z ekologického hľadiska sú tiež výhodné a neobsahujú ortuť ako niektoré úsporné žiarovky.

### **5.2.2 Nevýhody**

Hlavnou nevýhodou v súčasnej dobe je cena diód. Ešte sa neoplatí kupovať veľmi výkonné LED žiarovky namiesto úsporných žiaroviek. Majú dlhú dobu návratnosti investície. Svetlo vyžarované z LED je rozdielne od žiarovkového svetla. Veľký problém je farba a iné vlnové zloženie farby, ktoré ovplyvňuje vnímanie farieb predmetov. Ani rozptyl svetla nie je taký dokonalý ako u žiarovky. Pre napájanie LED je potrebné použiť drahšie zdroje a elektrické obvody pomocou ktorých je možné dosiahnuť požadované napätia a prúd pre napájanie diódy. Prúd pretekajúci daným polovodičom sa zmenou teploty mení a pri prekročení povolených limitov sa jednoducho dá zničiť dióda. Zničiť sa dajú aj nesprávnym a nedostatočným chladením.

## 5.3 Stmievanie

Medzi výhody LED patrí stmievanie a rýchle blikanie bez ovplyvnenia životnosti diódy. Väčšina stmievacích aktorov funguje na princípe rýchleho zapínania a vypínania žiarovky alebo diódy pomocou PWM.

### 5.3.1 PWM

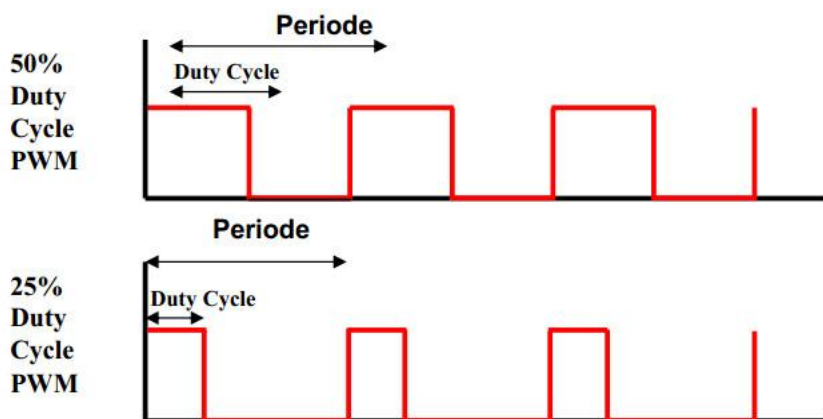
Pulzne-šírková modulácia patrí medzi výkonné techniky pre ovládanie analógových obvodov s procesorom(mikrokontrolérom) s digitálnym výstupom. Využitie si nájde v širokom spektre zariadení napr. v meracej technike, komunikácii a v ovládaní výkonu[10].

Princíp prenosu je založený na striedaní log. 0 a 1. Je udaná frekvencia ktorou sa daný pulz opakuje. Dĺžka log. 0 alebo 1 nám určuje prenášanú hodnotu. Striedou(duty cycle) sa nazýva pomer medzi dĺžkami logických hodnôt. Perióda je dĺžka jednej striedy.

PWM ide použiť aj ako jednoduchý Č/A prevodník kde, premenlivú striedu ide vyhodnotiť ako priemerné napätie[11].

V mikrokontroléry sa PWM generuje pomocou časovača. Perióda sa nastaví pomocou porovnávacieho registra alebo pretečením časovača a výstup zmení logický stav. Veľkosť striedy sa určí pomocou porovnávacích registrov, ktoré pri dosiahnutí danej hodnoty zmenia logický stav výstupu. Týmto spôsobom je možné pomocou jedného časovača generovať viacej PWM signálov na rôznych výstupoch v závislosti na možnostiach MCU.

Táto metóda je použitá aj pri regulácii intenzity svetla LED diódy. Vzniká rýchle blikanie, pre ľudské oko neviditeľné. Frekvencia musí byť vyššia ako 100Hz lebo v opačnom prípade by bolo blikanie viditeľné.



Obrázok 5.4 PWM[11]

### 5.3.2 Stmievanie s konštantným napätím

Jednoduchá a cenovo dostupná hardwarová realizácia spôsobila veľké rozšírenie daného typu stmievania. Používa sa napr. pri LED pásoch zložených najčastejšie z diód 3528 alebo výkonnejších 5050. Napájací zdroj generuje konštantné napätie 12Vdc alebo 24Vdc. Výkon zdroja závisí od počtu diód.

Diódy v LED pásoch sú zoskupené do sektorov a sektory sú zapojené paralelne. Odpálenie jednej diódy nespôsobí nefunkčnosť celého LED pásu ale len daného sektoru. Diódy v jednom sektore sú zapájané sériovo za sebou a majú predradený odpor, má za úlohu znížiť napätie a zregulovať prúd ktorý tečie jedným sektorom. Takýmto spôsobom môžu byť zapojené a regulované aj jednotlivé diódy namiesto série diód. Reguláciu prúdu a napätia odporom je možné riešiť iba pri malých výkonoch v opačnom prípade by vznikalo prebytočné teplo na odporoch a znižovalo by to efektívnosť zapojenia.

Rýchlym zapínaním a vypínaním sa zníži priemerné napätie ktoré spôsobí pokles intenzity diódy. Zmenou intenzity sa farba svetla nemení a stále zostáva rovnaká.

### 5.3.3 Stmievanie s konštantným prúdom

Cenovo drahšia verzia stmievania je určená pre vysokovýkonné LED. Regulácia jasu prebieha na podobnom princípe ako pri stmievaní s konštantným napätím. Pri rýchlom spínaní pomocou PWM sa mení priemerný prúd ktorý preteká cez LED. Pri slabej intenzite sa farba svetla môže meniť. Napríklad u bielej LED sa môže zmeniť odtieň do modrej farby.

Napájanie prebieha pomocou zdroja s konštantným napätím. Napätie zdroja závisí od počtu diód zapojených za sebou. Stmievacie zariadenie obsahuje regulátor prúdu, ktorým sa nastaví maximálny prúd pre daný typ diód. Nie je potrebné použiť zdroj s konštantným prúdom, lebo elektronika v aktore reguluje prúd.

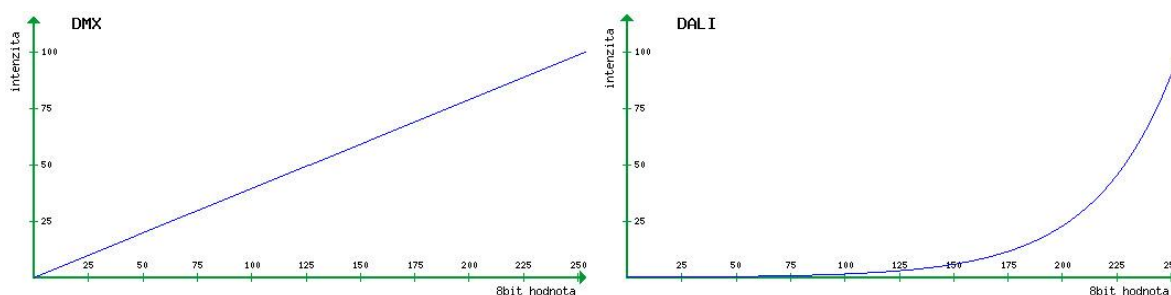
LED pás je tvorený vysokovýkonnými diódami ktoré sú zapojené sériovo za sebou. Neobsahujú žiadny predradený odpor, lebo zo stmievacieho zariadenia vystupuje presný prúd.

### 5.3.4 Krivka stmievania

Krivka stmievania je rozdielna v DMX zariadeniach a DALI stmievačoch. DMX používa lineárne stmievanie, výstupný výkon stmievača sa mení lineárne. Oproti tomu DALI používa logaritmickú krivku ktorá je vhodnejšie pre ľudské vnímanie, stmievanie vnímame lineárne. Táto krivka je založená na Weberovom-Fechnerovom zákone. Hodnoty získame podľa vzorca 5.1. Tabuľka vypočítaných hodnôt je v Príloha C.

$$X(n) = 10^{\frac{n-1}{254/3}} - 1 \quad (5.1)$$

Kde  $X(n)$  je intenzita osvetlenia a  $n$  je 8bitová vstupná hodnota.



Obrázok 5.5 DMX a DALI krivka stmievania[12]

## 5.4 Mikrokontroléry rady LPC 111x

Mikrokontroléry LPC1111/12/13/14 sú založené na ARM Cortex-M0, 32 bitová rodina MCU a sú vhodné pre 8/16-bitové aplikácie. Ponúkajú vysoký výkon pri veľmi malej spotrebe a majú jednoduchú inštrukčnú sadu.

LPC1111/12/13/14 môžu mať taktované CPU až na frekvenciu 50MHz.

Rozdiel medzi typmi LPC1111/12/13/14 sú vo veľkosti flash pamäte(uchováva program) a pamäte SRAM pre dáta, veľkosť flash sa pohybuje od 8kB až po 32kB a veľkosť SRAM sa pohybuje od 2kB až po 8kB. Medzi jednotlivými typmi sú aj rozdielne puzdrá a počet vývodov. LPC1111/12 sa vyrába v puzdre HVQFN33 ktoré obsahuje 33 vstupno-výstupných nožičiek a LPC 1113/1114 sa vyrába v puzdre HVQFN33 a LQFP48 ktoré má 48 vývodov. Ďalšie rozdiely sú aj v počte periférií a lacnejšie verzie neobsahujú profily pre správu napájania[14].

## 5.5 Periférie a vlastnosti mikrokontroléru

Daná rada mikrokontrolérov obsahuje veľké množstvo periférií pre komunikáciu s okolím.

Obsahuje až 42 vstupno-výstupných konektorov, ktoré je možné ľubovoľne použiť. Pre zjednodušenie návrhu hardware a cenovú úsporu, niektoré výstupy obsahujú Pull-up a Pull-down odpor ktorý je možné softwarovo zapnúť. Niektoré verzie podporujú aj otvorený kolektor. Každý vstup môže generovať prerušenie a maximálny odber z jedného výstupu je 20mA ale je obmedzený celkový odber mikrokontroléra.

13 výstupov a 4 vstupy je možné pripojiť k interným časovačom. Dva sú 16 bitové a ďalšie dva sú 32 bitové. Obsahuje aj interný časovač(tick timer), ktorý je možné použiť na časovače v programe bez výstupných konektorov.

S mikrokontrolérom je možné komunikovať po sériových protokoloch. UART ktorý je vhodný na komunikáciu RS-485 a zbernica I2C, ktorá vie dosiahnuť rýchlosť komunikácie až 1Mbit/s. Aj ladenie prebieha cez sériovú linku.

Interný oscilátor je taktovaný s frekvenciou 12MHz a externý môže byť použitý od 1MHz až po 25MHz.

Integrovaný PMU znižuje spotrebu v režimoch Sleep, Deep-sleep a Deep power-down módoch. Prebudenie z týchto módov prebieha pomocou 13 dedikovaných vstupov[14].

Napájanie procesora je možné realizovať s napätím v rozsahu 1,8-3,6V.

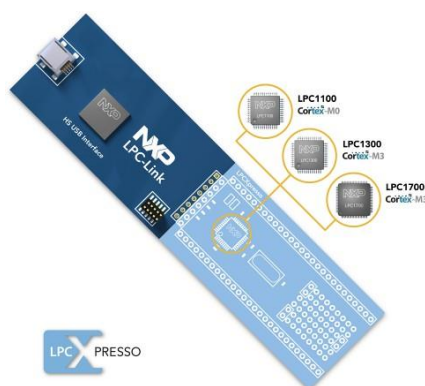
Mikrokontrolér obsahuje aj ďalšie periférie a rozšírenia, ktoré neboli použité pri tomto projekte. WDT ktorý slúži pre zabezpečenie neustáleho chodu programu aj v prípade že, sa zasekne program pomocou externého rušenia, 10 bitový ADC prevodník na prevod analógovej hodnoty na digitálnu, SPI pre sériovú komunikáciu, profily napájania pre jednoduché riadenie spotreby a ISP(In System Programmer) a IAP(In Application Programmer) pomocou ktorých je možné nastaviť MCU do pôvodného stavu aj v prípade že konektory JTAG boli prepnuté na iný režim a resetovať mikrokontrolér .

## 5.6 Vývoj aplikácie

Vývoj prebiehal pomocou vývojového kitu, ktorý nám dodala firma NPX. Vývojový kit LPCXpresso obsahuje mikrokontrolér LPC1114/302 v puzdre LQFP48. Na programovanie slúži prostredie LPCXpresso IDE od Code Red Technologies.

### 5.6.1 LPCXpresso

Vývojový kit LPCXpresso je lacný vývojový prostriedok pre LPC mikrokontroléry založené na architektúre ARM a bol navrhnutý s Code Red Technologies a s Embled Artists. K počítaču sa pripája pomocou mini USB konektoru ktorý zabezpečuje aj napájanie pre programátor a MCU. Jedna časť tvorí programátor a nástroj na ladenie(debugger) a druhú časť tvorí plošný spoj s MCU.



Obrázok 5.6 LPCXpresso[13]

Časť ktorá obsahuje MCU, obsahuje aj 12MHz křišťál a jednu signalizačnú LED na výstupe PIO0\_7(Označenie vstupno-výstupných konektorov,PIO0 označuje port0 a 7 označuje 7 výstup). Všetky vývody z MCU sú vyvedené a sú predvrtané, kde je možné pripojiť pinheader a tak rozšíriť jeho funkčnosť.

Programátor je priamo pripojený k plošnému spoju s MCU. Je ich možné oddeliť a tak dostávame zvlášť programátor, ktorý obsahuje JTAG konektor na programovanie zariadení. Okrem programovania je implementovaná aj podpora ladenia cez sériovú komunikáciu. Takto zabezpečili lacnejší vývoj bez potreby kupovania drahých zariadení na ladenie.



Obrázok 5.7 LPCXpresso programátor[13]



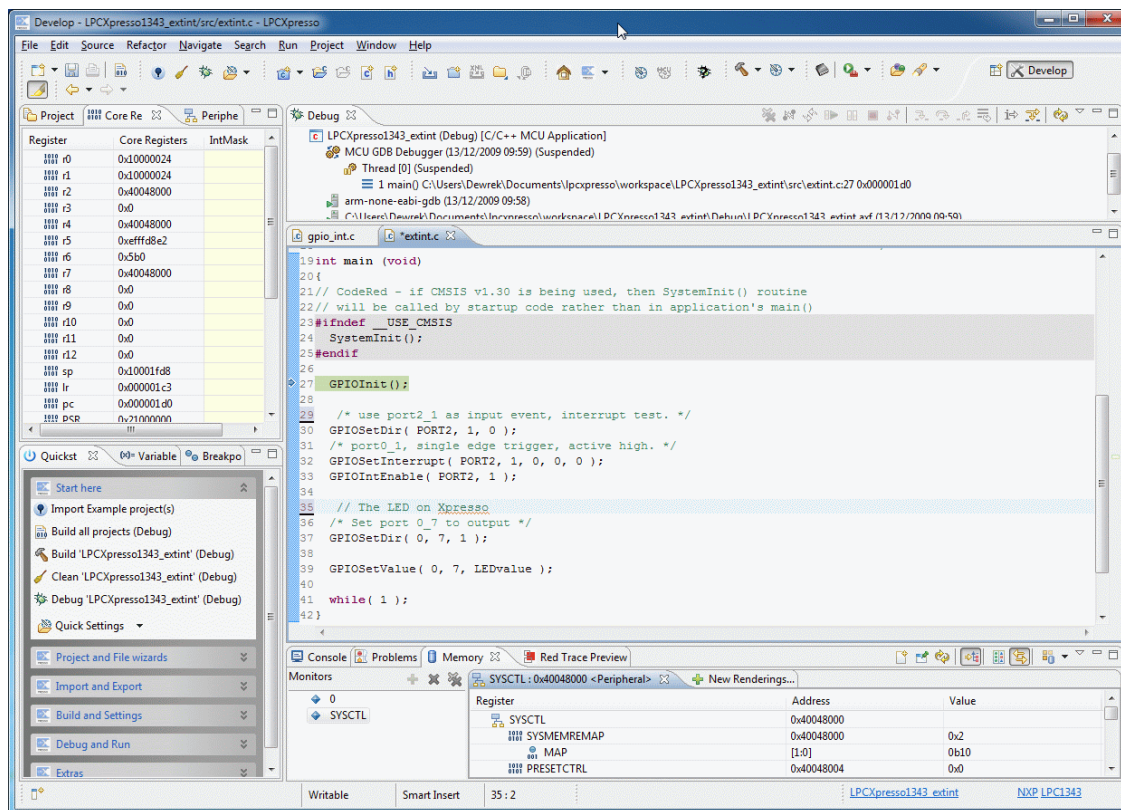
## 5.6.2 Prostredie IDE

LPCXpresso IDE, je vysoko integrované softwarové prostredie pre mikrokontroléry LPC od NXP. Obsahuje všetky nástroje pre vývoj vysoko kvalitného softwaru. Programovanie prebieha v jazyku C[13].

Obsahuje integrované nástroje ako je debugger pre ladenie a hľadanie chýb, v ktorom je možné krokovať program, nástroje pre priamy prístup do pamäte, konzolu a možnosť použiť príkaz `printf` priamo v programe a rôznych pomocníkov pre ľahšie vytváranie projektov a správu ovládačov.

K LPCXpresso je poskytnutý balík ukázkových projektov pomocou ktorých sa dá ľahko naučiť programovať v danom prostredí a sú nám poskytnuté ovládače ku každej periférii na MCU. Slúžia na pochopenie princípu fungovania periférií ale pred použitím je ich vhodné zmeniť a prispôbiť na vlastnú aplikáciu.

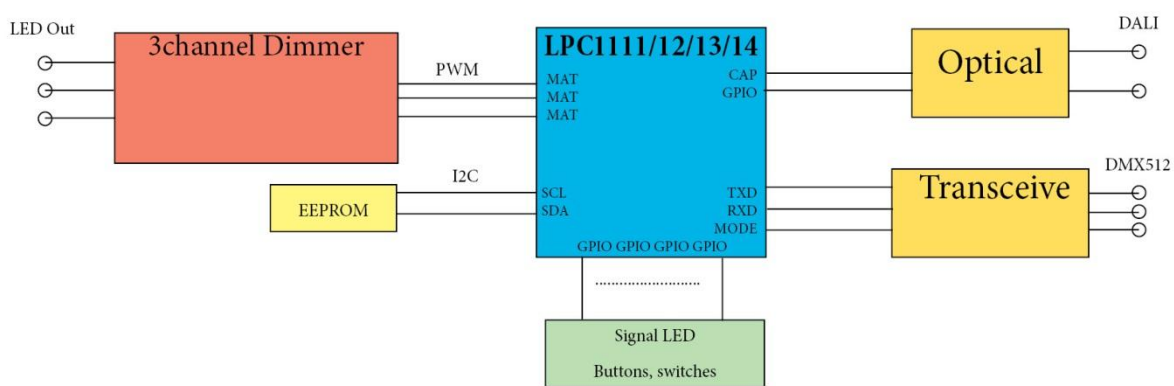
Pri vytváraní programu sa používa CMSIS(Cortex Microcontroller Software Interface Standard) pre daný mikrokontrolér. Táto knižnica nám zabezpečí jednoduchšiu prenositeľnosť a jednoduchšie programovanie ARM mikrokontrolérov. Takto sa urýchli vývoj, skráti čas do nasadenia a zredukuje sa aj náklady. Vytvára abstraktnú vrstvu nad hardwarom.



Obrázok 5.8 LPCXpresso prostredie IDE[13]

## 6 Hardware

Hardware bol navrhovaný pomocou programu Eagle. Pri zapojovaní a návrhu sme sa pokúšali použiť čo najmenej súčiastok a zmestiť sa do cenového limitu 500CZK. Bol použitý mikrokontrolér LPC1114 ale pri výrobe prvého prototypu s požadovanými rozmermi bol použitý mikrokontrolér LPC1113 vzhľadom k nedostupnosti druhého. Rozdiel spočíva iba v kapacite pamäte. Bol bráný ohľad aj na možnosť znížiť náklady použitím lacnejšieho MCU LPC1111 alebo LPC1112 ktorý existuje len v blokovej diagram zapojenia periférií k mikrokontroléru a typ použitých vstupno-výstupných konektorov.



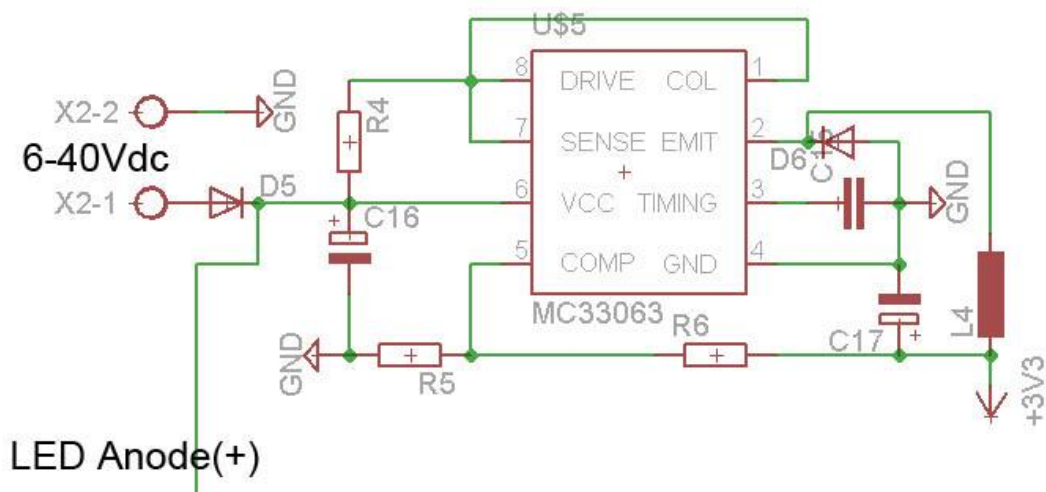
Obrázok 6.1 Zjednodušený blokový diagram zariadenia

## 6.1 Napájanie

Zariadenie pôvodne malo byť napájané jedným 24V jednosmerným zdrojom napätia. Vzhľadom k použitým LED kontrolérom bolo vhodnejšie použiť širší rozsah napätia. Použitý bol DC-DC menič ktorý je účinnejší ako lineárne regulátory a generuje menej stratového tepla.

Mikrokontrolér potrebuje napätie o veľkosti od 1.8V až do 3.6V. MCU má veľmi malú spotrebu. Maximálna spotreba môže dosiahnuť 100mA. Transceiver(prímač a vysielač v jednom zariadení) a EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) je tiež pripojená na spoločný zdroj napätia. EEPROM má maximálnu spotrebu 3mA a transceiver má maximálnu spotrebu 1,5mA.

Požadované napätie 3.3 V bolo dosiahnuté pomocou regulátora MC3306. Má širší rozsah vstupného napätia(6-40V) a dostatočný výkon až 1,5A. Podľa meraní spotreba MCU,EEPROM a transceiver nikdy nepresiahla 100mA. Pomocou diódy je zabezpečená ochrana proti prepólovaniu napájania.



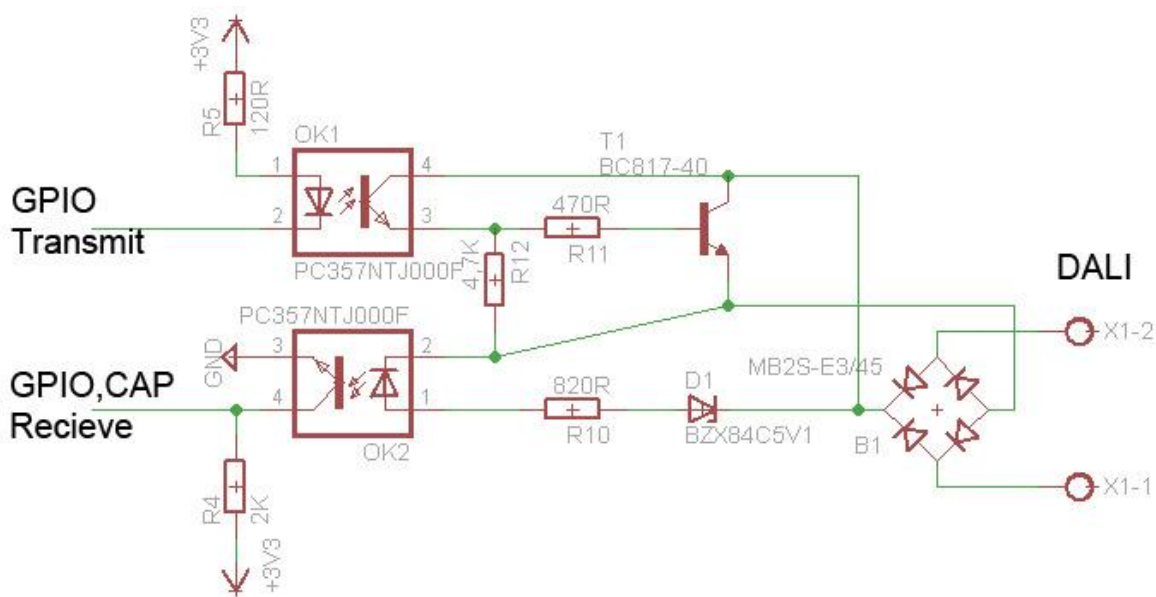
Obrázok 6.2 Regulátor napätia

## 6.2 DALI

Dali je jednoduchý protokol, dáta sa prenášajú cez dvoj vodičovú zbernicu. Zbernica je napájaná zdrojom s typickým napätím 16V. Zbernica je v čase pokoja v logickej jednotke na napätí 16V. Do logickej nuly sa dostane zoskratovaním zbernice. Zdroj na zbernici má obmedzený prúd na maximum 250mA. Podľa štandardu všetky dali zariadenia musia odolať takémuto prúdu a vyšší prúd by mohol zničiť zariadenie. Cez zbernicu je možné aj napájať zariadenie ale v našom prípade je zvlášť napájané MCU a nie cez zbernicu DALI.

Podľa špecifikácie dali, zbernica musí byť opticky oddelená. V zapojení je to realizované pomocou optočlenov. Takto je zabezpečené, že parazitné napätia, indukované napätia alebo statická elektrika nie je schopná zničiť celé zariadenie.

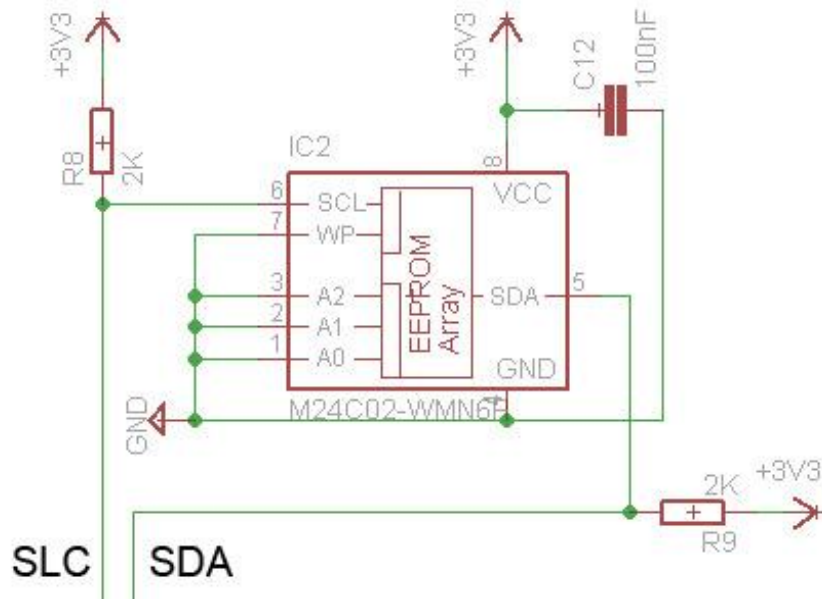
Je použitý usmerňovací mostík, ktorý zabráni opačnému zapojeniu zbernice a namiesto drahých optočlenov, vhodné pre vyššie prúdy je vysielanie signálu riešené pomocou lacnejšieho optočlenu ktorý spína NPN tranzistor.



Obrázok 6.3 Zapojenie optickej izolácie DALI

Pre správne fungovanie protokolu DALI je potrebné uchovávať niektoré údaje a nastavenia zariadenia. Dané mikrokontroléry podporujú ukladanie údajov do flash pamäte, ale je tam obmedzený počet zápisov a toto by mohlo spôsobiť skrátenú životnosť zariadenia. Vhodnejšie bolo použiť externú pamäť EEPROM pripojenú cez I2C zbernicu ktorá má väčšiu životnosť. Vodiče I2C zbernice majú externé Pull-up odpory. Celková potrebná kapacita je 85bajtov = 680 bitov. Pamäť ktorá bola

použitá pri prototypy má veľkosť 2Kbity ale je možné použiť aj pamäť s veľkosťou 1Kbit a tak znížiť náklady na výrobu.



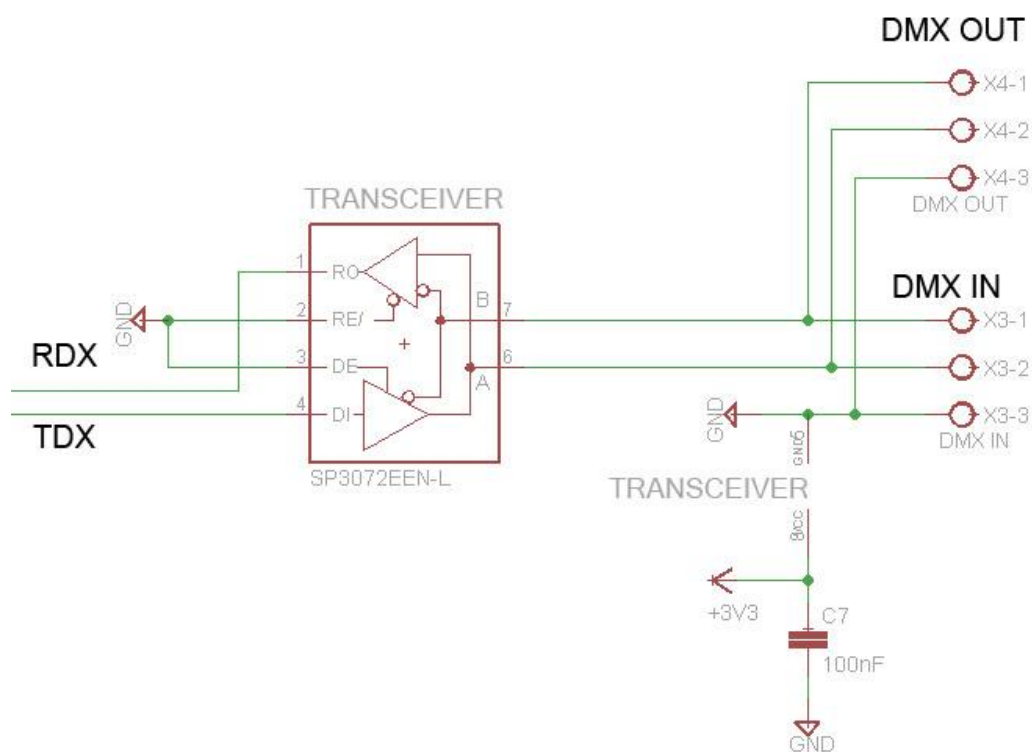
Obrázok 6.4 Zapojenie EEPROM

## 6.3 DMX

Zbernica DMX je 3 vodičová. Dva signálové vodiče s diferenciálnym signálom a tretí uzemňovací vodič. Spracovanie signálu je veľmi jednoduché, DMX je založený na EIA-458. Diferenciálny signál je spracovaný pomocou transceiveru. Transceiver je prepnutý pomocou MCU režimu prijímania privedením logickej nuly na vstupy 2 a 3, spracovaný signál putuje do mikrokontroléra na RXD vstup.

Transceiver obsahuje ESD(Electrostatic discharge) ochranu. Z tohto dôvodu nebolo použité optické oddelenie zbernice od MCU.

Ak je zariadenie posledné na zbernici, je vhodné použiť terminátor. Stačí pripojiť  $120\Omega$  odpor na výstup DMX medzi signálové vodiče. Zariadenie funguje aj bez terminátora.



Obrázok 6.5 Zapojenie DMX

## 6.4 Signalizácia, gombíky a prepínače

Z požiadaviek od firmy ELKO EP plyní že zariadenie musí byť ovládateľné aj pomocou gombíkov a musíme mať prehľad o činnosti zariadenia.

Signalizačné diódy ukazujú stav zariadenia. Zelená dióda svieti ak je zariadenie pod napätím alebo bliká ak prijíma signál. Tri kontrolné diódy žltej farby signalizujú intenzitu svetla na jednotlivých kanáloch. Sú priamo cez odpor napojené na výstup MCU, kde sa generuje PWM signál a medzi výkonovou časťou.

Zariadenie obsahuje 3 tlačidlá, každé jedno pre jeden kanál. Pomocou nich sa dá ovládať intenzita osvetlenia.

Na stmievači sa nachádza 10 prepínačov. Prvý až deviaty slúži na výber DMX kanálu a pomocou desiateho sa vyberá protokol cez ktorý sa bude komunikovať so zariadením. Každý prepínač je napojený na samostatný vstup mikrokontroléru. Ak by bol nedostatočný počet vstupov na mikrokontroléry, je možné realizovať výber kanálu napríklad pomocou vhodne zvolených odporov na prepínačoch a A/D prevodníku na mikrokontroléry.

## 6.5 Výkonová časť

Ovládanie výkonovej časti je realizované pomocou PWM. Jednotlivé kanáli majú mať podľa zadania výkon do 50W.

Na trhu sú dostupné RGB LED diódy a pásy ktoré sa dajú kúpiť vo vyhotovení zo spoločnou anódou ale aj katódou. LED pásy sú rozšírené najviac so spoločnou anódou. Vysoko výkonné LED čipy majú vyvedenú aj anódu aj katódu a preto je ich možné podľa zváženia zapojiť obidvoma spôsobmi. Pri návrhu bolo zvolené zapojenie zo spoločnou anódou. LED kontroléry dostupné na trhu majú vo väčšine prípadov práve anódu spoločnú.

### 6.5.1 Konštantné napätie

Stmievac s konštantným napätím je cenovo dostupný a nenáročný na hardwarovú realizáciu.

Pomocou PWM signálu sa zapína a vypína MOSFET, tranzistor ktorý prepustí napätie zo zdroja k diódam. Takto sa zreguluje priemerné napätie. Tepelná ochrana je priamo zabudovaná do tranzistorov a môžu obsahovať aj ochranu proti skratu.

### 6.5.2 Konštantný prúd

Stmievanie konštantným prúdom je náročnejšie na realizáciu. V projekte bolo použité riešenie pomocou LED ovládača LM3414 od firmy Texas Instruments. Regulátor je schopný dodať konštantný prúd až veľkosti 1A pri maximálnom napätí až 42V alebo 65V pri verzii LM3414HV. Celkový výkon dosahuje až 60W a je možné zapojiť 18 LED diód v sérii na výkonnejšiu verziu.

Veľkosť prúdu sa nastavuje pomocou externého nastavovacieho odporu s veľkosťou niekoľko kilo ohmov. Je rozdielny oproti iným regulátorom, lebo výsledný prúd neprechádza nastavovacím odporom. V lacnejších regulátoroch je nastavovací odpor menší ako 1Ohm a prechádza ním konečný prúd. Je ich vhodné použiť v zariadeniach kde sa nepožaduje zmena výstupného prúdu.

Veľkosť prúdu sa nastavuje podľa použitých LED pomocou 10 polohového, otočného, binárneho prepínača v rozsahu od 350mA až po 1A. Nastavenia boli prispôbené diódam, ktoré sú dostupné na trhu(vid. kapitola 5.1.2). Tabuľka 6.1 zobrazuje výpočet nastavovacích odporov, ich zapojenie na prepínač a výsledný odpor s hodnotou výstupného prúdu. Výsledný prúd sa vypočíta so vzorcom 6.1[1][16].

$$I_{LED} = \frac{3125 \times 10^3}{R_{IADJ}} mA \quad (6.1)$$



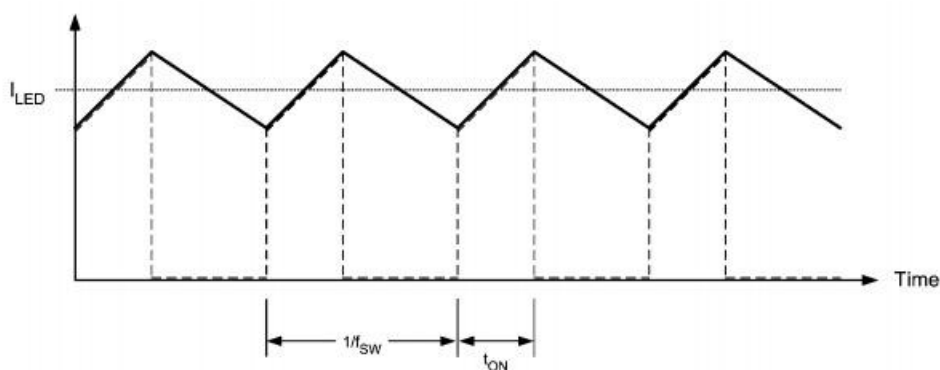
| POZÍCIA            | bit 0 | bit 1 | bit 2 | bit 3 |      |                                  |                            |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|----------------------------------|----------------------------|
| HODNOTA            | 0     | 1     | 2     | 4     | 8    |                                  |                            |
| ODPOR(k $\Omega$ ) | 8,87  | 21    | 8,87  | 32,4  | 6,34 | Výsledný odpor IADJ(k $\Omega$ ) | Prúd I <sub>LED</sub> (mA) |
| 0                  | 1     | 0     | 0     | 0     | 0    | 8,87                             | 352                        |
| 1                  | 1     | 1     | 0     | 0     | 0    | 6,24                             | 501                        |
| 2                  | 1     | 0     | 1     | 0     | 0    | 4,44                             | 705                        |
| 3                  | 1     | 1     | 1     | 0     | 0    | 3,66                             | 853                        |
| 4                  | 1     | 0     | 0     | 1     | 0    | 6,96                             | 449                        |
| 5                  | 1     | 1     | 0     | 1     | 0    | 5,23                             | 598                        |
| 6                  | 1     | 0     | 1     | 1     | 0    | 3,90                             | 801                        |
| 7                  | 1     | 1     | 1     | 1     | 0    | 3,29                             | 950                        |
| 8                  | 1     | 0     | 0     | 0     | 1    | 3,70                             | 845                        |
| 9                  | 1     | 1     | 0     | 0     | 1    | 3,14                             | 994                        |

Tabuľka 6.1 Nastavovacie odpory prúdového regulátora

Stmievanie prebieha pomocou PWM podobne ako pri regulácii s konštantným napätím. Signál zapína a vypína regulátor a tým sa mení priemerný prúd na diódach.

Regulácia maximálneho prúdu v regulátore prebieha pomocou zapínania vypínania. Interný oscilátor ktorý je nastavený na 500kHz spína výstup po prekročení určených hraničných hodnôt prúdu(vid. obrázok 6.6).

Vzhľadom k veľkosti a typu puzdra, chladenie bolo riešené cez plošný spoj rozliatím medi na väčšiu plochu ktorá odvádza teplo od čipu.



Obrázok 6.6 Regulácia prúdu v LED regulátore[16]

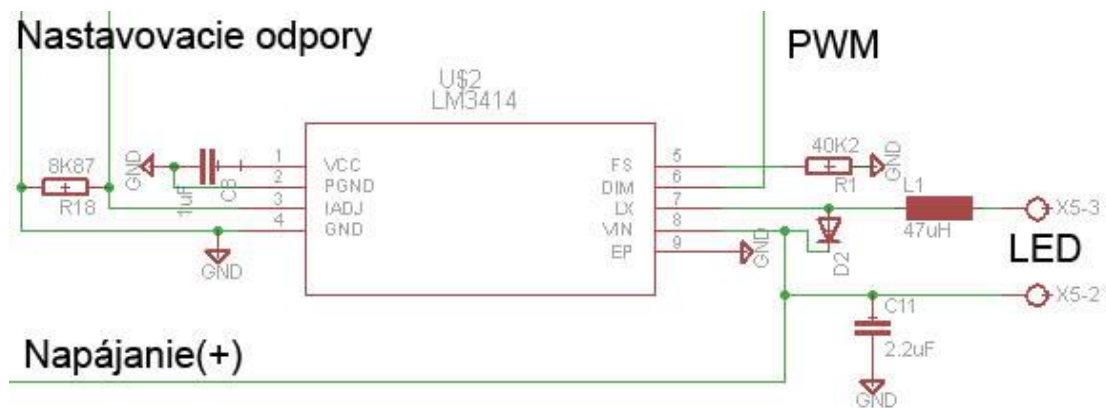
Podľa dokumentácie, vhodná cievka by mala mať indukčnosť 47 $\mu$ H alebo väčšiu a prúd o 60% väčší, ako je prúd na diódach. Vzhľadom k obmedzenému priestoru na plošnom spoji sa použila cievka s indukčnosťou 47 $\mu$ H a maximálnym prúdom 1,4. Vzhľadom, že maximálny prúd 1,6 bude dosiahnutý len na veľmi krátke pulzy cievka sa nebude zahrievať a bude vhodná. Vhodná indukčnosť pre niektoré vstupné, výstupné napätie a prúd pri frekvencií  $f_s=500$ kHz je zobrazená

v Tabuľka 6.2. Použitá indukčnosť bude dostatočná ak výstupné napätie bude v rozsahu od vstupného napätia – 2V až po vstupné napätie(pri vstupnom napätí 12V bude rozsah od 10V až do 12V) . Vzorec 6.2 slúži na výpočet indukčnosti a Tabuľka 6.2 zobrazuje niektoré povolené hodnoty vstupných a výstupných napätí a minimálnu indukčnosť cievky. Zariadenie bude fungovať aj v prípade ak tieto hodnoty nebudú dodržané, v tomto prípade bude prúd na diódach viacej kmitať. Výstupné napätie je závislé na type použitej LED.

$$L_{MIN} = \frac{V_{IN}-V_{OUT}}{1,2*I_{LED}} * \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} * \frac{1}{500000} \quad (6.2)$$

| Vin | Vout | Iled(mA) | L(uH) |
|-----|------|----------|-------|
| 12  | 10   | 350      | 40    |
| 12  | 10   | 500      | 28    |
| 12  | 10   | 700      | 20    |
| 12  | 10   | 1000     | 14    |
| 24  | 22   | 350      | 44    |
| 24  | 22   | 500      | 31    |
| 24  | 22   | 700      | 22    |
| 24  | 22   | 1000     | 15    |
| 42  | 40   | 350      | 45    |
| 42  | 40   | 500      | 32    |
| 42  | 40   | 700      | 23    |
| 42  | 40   | 1000     | 16    |

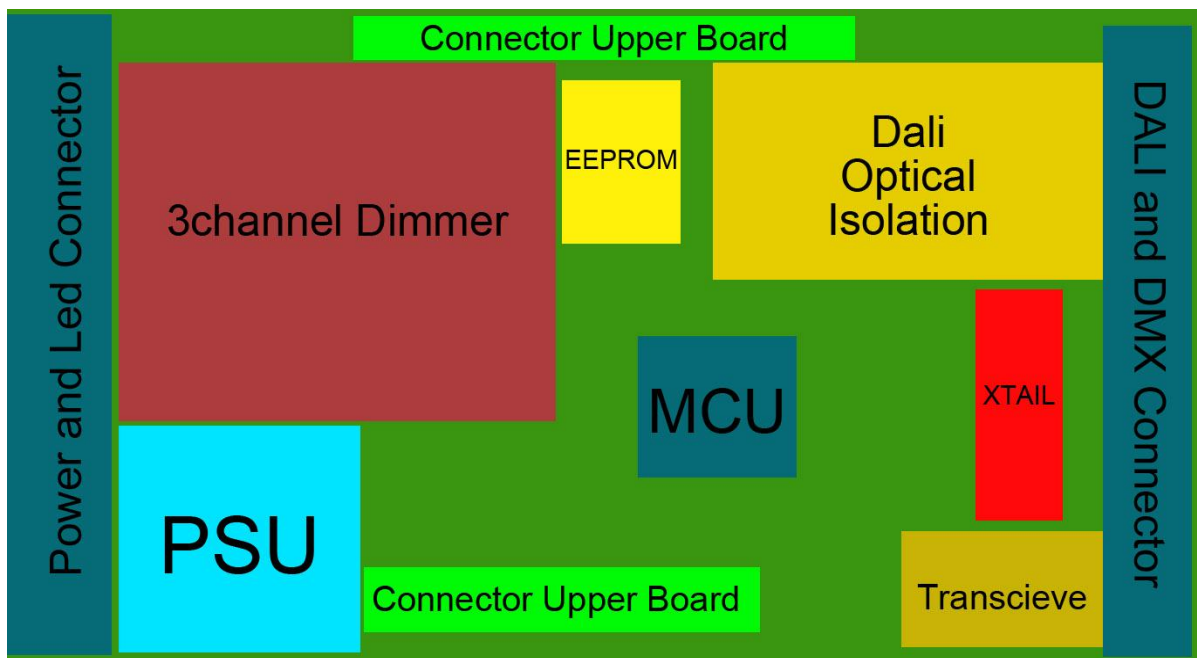
Tabuľka 6.2 Minimálna indukcia



Obrázok 6.7 Zapojenie LED kontroléra

## 6.6 Plošný Spoj

Firma ELKO EP dodala 3M DIN krabicu do ktorého je potrebné zariadenie osadiť. Výsledné zariadenie bude zložené z dvoch plošných spojov ktoré sú dvojvrstvové. Na spodnom plošnom spoji bude hlavná časť ktorá obsahuje MCU, výkonovú časť, DALI, DMX a EEPROM a napájanie. Rozmery spodného plošného spoja sú 86,4 x 46,2mm a rozmery vrchného plošného spoja sú 42 x 48mm. Vrchný plošný spoj obsahuje signalizačné diódy, tlačidlá a prepínače na nastavovanie zariadenia(vid. Príloha C).



Obrázok 6.8 Bloková schéma plošného spoja

## 6.7 Cenová kalkulácia

Pri vývoji stmievača sme boli obmedzovaný finančnou hranicou 500CZK za súčiastky ktoré budú použité pri výrobe. Prihliadnutím na tento fakt zariadenie bolo vytvárané na lacnom mikrokontroléry LPC1114 ktoré neskôr bolo nahradené lacnejším LPC1113. Príčinou tejto náhrady bola aj cena MCU a aj nedostupnosť drahšej verzie.

Najdrahšiu časť tvorí LED regulátor. Na trhu je dostupné veľké množstvo, ale tieto nie veľmi vyhovovali nášmu projektu. Do úvahy prišiel aj regulátor STCS2 od STMicroelectronic, ktorý je lacnejší a nepotrebuje drahé externé súčiastky. Po konzultácií s ELKO EP sme upustili od tohto regulátoru a použili sme drahší LM3414HV od National Semiconductor. Lacnejšia verzia LM3414, bola nedostupná.

Tabuľka 6.3 Cenová kalkulácia zobrazuje cenu použitých súčiastok a celkovú cenu. V kalkulácií nie sú zahrnuté odpory, keramické kondenzátory a konektory. Hranicu 500CZK sme neprekročili. Ceny boli určené z obchodu Farnell pri nákupe najväčšieho množstva do 1000ks.

| Označenie  | Počet | Cena za ks(CZK) | Cena(CZK)      |
|--|-------|-----------------|----------------|
| VISHAY - MB2S-E3/45 - RECTIFIER, BRIDGE, 200V, 0.5A, TO269AA       | 1     | 4,570           | 4,570          |
| MULTICOMP - MCRH50V107M8X11 - CAPACITOR, 100UF, 50V                | 1     | 0,914           | 0,914          |
| MULTICOMP - MCMHR6V3107M6.3X7 - CAPACITOR, 100UF, 6.3V             | 1     | 0,369           | 0,369          |
| VISHAY SEMICONDUCTOR - BZX84C5V1-V-GS08 - DIODE, ZENER, 0.3W, 5.1V | 1     | 0,457           | 0,457          |
| MULTICOMP - RS2B - DIODE, FAST, 2A, 100V                           | 3     | 2,500           | 7,500          |
| DIODES INC. - B550C-13-F - DIODE, REC, SCHOTTKY, 50V, 5A, SMC      | 1     | 8,530           | 8,530          |
| DIODES INC. - 1N5819HW-7-F - DIODE, SCKY RECTI, 1A, 40V, SOD123    | 1     | 3,660           | 3,660          |
| STMICROELECTRONICS - M24C01 - EEPROM I2C 1K, SMD, 24C01, SOIC8     | 1     | 7,610           | 7,610          |
| BOURNS - RL622-470K-RC - INDUCTOR, RADIAL, 47UH, 10%, 1.4A         | 3     | 13,400          | 40,200         |
| MULTICOMP - MCFT000211 - INDUCTOR, FERRITE, 1812, 220UH            | 1     | 2,160           | 2,160          |
| AVAGO TECHNOLOGIES - ACPL-217-50BE - OPTOCOUPLER, TRANSISTOR O/P   | 2     | 3,440           | 6,880          |
| TXC - 9C-12.000MEEJ-T - XTAL, 12.000MHZ, 18PF, SMD, HC-49S         | 1     | 8,530           | 8,530          |
| MULTICOMP - BC817-40 - TRANSISTOR, NPN, 0.5A, 45V, SOT23           | 1     | 0,822           | 0,822          |
| EXAR - SP3072EEN-L - TRANSCEIVER RS-485 3V, SMD, 3072              | 1     | 30,460          | 30,460         |
| NXP - LPC1113FBD48/302,1 - MCU, 32BIT, CORTEX M0, 48LQFP           | 1     | 40,200          | 40,200         |
| NATIONAL SEMICONDUCTOR - LM3414HVSD - IC, LED DRIVER, 1A, HV, 8LLP | 3     | 40,510          | 121,530        |
| ON SEMICONDUCTOR - MC33063ADG - DC/DC CONVERTER, SMD, 33063, SOIC8 | 1     | 15,530          | 15,530         |
| TE CONNECTIVITY / ALCOSWITCH - FSM8JH - SWITCH, TACTILE, SPNO      | 3     | 1,920           | 5,760          |
| MULTICOMP - MCDS10 - SWITCH, DIL, 10WAY                            | 1     | 14,920          | 14,920         |
| MULTICOMP - MCRH2AF-10R - ROTARY DIP SWITCH                        | 3     | 16,750          | 50,250         |
| <b>CELKOVÁ CENA</b>  |       |                 | <b>370,852</b> |
| <b>CELKOVÁ CENA s DPH</b>  |       |                 | <b>445,022</b> |

Tabuľka 6.3 Cenová kalkulácia

## 7 Implementácia Firmwaru

Firmware je implementovaný v jazyku C s pomocou použitia knižnice CMSIS pre ARM. Pri implementácii boli použité alebo tvorili inšpiráciu ovládače ktoré dodáva firma NXP a niektoré ich voľne dostupné projekty(AN10960, AN10760, AN10717).

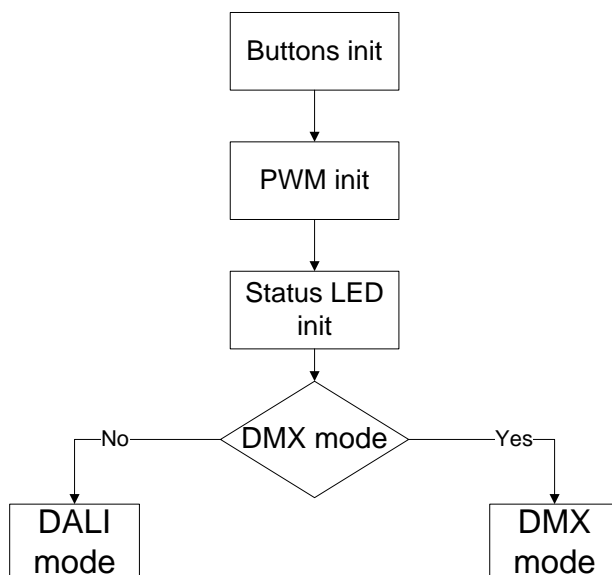
Táto kapitola podrobnejšie popisuje jednotlivé časti firmwaru a vysvetľuje komunikáciu jednotlivých modulov.

## 7.1 Základný princíp fungovania

Riešenie výberu a následná zmena protokolu ktorým komunikuje zariadenie je riešené netriviálnym spôsobom. Pri prepnutí zariadenia z DMX na DALI alebo opačne, sa vykoná reset zariadenia. Toto riešenie predpokladá, že zariadenie bude používať iba jeden protokol a nebude sa stále prepínať a meniť. K tomuto riešeniu viedla jednoduchosť implementácie a málo spoločných periférií a modulov potrebných ku komunikácii cez DALI a DMX. Oba typy komunikácie používajú len 3 jednoduché spoločné moduly, nenáročné na inicializáciu a počiatočné nastavenie(vid. Obrázok 7.1 Flowchart úvodnej inicializácie).

Hlavné moduly sa inicializujú pomocou funkcií `initButtons()` (vid. kapitola 7.2), `initPwm()` (vid. kapitola 7.4), `initBlink()`(vid.kapitola 7.3). Ďalšie moduly sa inicializujú iba podľa vybraného protokolu. V každom prípade program zostáva v nekonečnej smyčke a prechádza do úsporného režimu (sleep) z ktorého sa prebúdzajú iba ak dostane prerušenie od NVIC( Nested interrupt manager) ktorý sleduje prerušenia generované perifériami. Takto sa zníži spotreba.

Z predchádzajúceho bodu vyplýva že periférie musia reagovať na prerušenie a obslužiť ho. Inicializačné funkcie u jednotlivých modulov vykonávajú nastavenie zdroja hodín pre danú perifériu v registri `LPC_SYSCON->SYSAHBCLKCTRL`, povoľujú prerušenie `NVIC_EnableIRQ()`, nastavujú vstupno-výstupné konektory, časovače ostatné registre ktoré dané rozhranie používa.



Obrázok 7.1 Flowchart úvodnej inicializácie

## 7.2 Ovládanie a nastavovanie zariadenia

Zariadenia sa ovláda a nastavuje z predného panela kde má užívateľ k dispozícii 3 tlačidlá a 10 prepínačov. Nastavovanie prúdu cez otočné binárne spínače neprebieha cez MCU.

Pri stlačení alebo prepnutí prepínačov vznikne prerušenie a podľa portu na ktoré je tlačidlo napojené sa obslúži s jednou z funkcií `PIOINT0_IRQHandler()`, `PIOINT1_IRQHandler()`, `PIOINT2_IRQHandler()`, `PIOINT3_IRQHandler()`. Inicializáciu vykonáva funkcia `initPwm()`.

Môže nastať prepnutie DMX kanálu, zmena komunikačného protokolu (vid. kapitola 7.1) alebo stlačenie tlačidla na ovládanie výstupných kanálov z predného panelu.

Výber kanálu sa koná pomocou prepínačov. Každý prepínač predstavuje jeden bit v 9 bitovom čísle ktorý určuje kanál. Jednotlivé bity sa binárnymi operáciami posúvajú a dávajú konečnú hodnotu (vid. Príloha A). Napr. hodnotu piateho bitu načítame zo vstupu `GPIO0_8`. Najprv maskovaním načítame iba požadovaný bit a následne ho posunieme na našu požadovanú pozíciu a ešte prebehne negácia ktorá musí prebehnúť kvôli spôsobu fyzického zapojenia

`!(LPC_GPIO0->MASKED_ACCESS[(1<<8)]>>8)<<5)`. Sčítaním požadovaných bitov dostaneme hodnotu počiatočného DMX kanálu.

Ovládacie tlačidlá na prednom paneli slúžia na kontrolu zariadenia a LED ktoré sú napojené na jednotlivé kanály. Po stlačení sa kontroluje či tlačidlo bolo stlačené krátko alebo dlho. Nie je tu potrebné presné časovanie pri kontrole dĺžky stlačenia. Používa sa cyklus `for` ktorý je nastavený na vhodný počet cyklov pre zabezpečenie oneskorenia.

## 7.3 Kontrolná signalizácia

Zariadenie na spätnú väzbu s užívateľom používa 4 diódy. 3 indikujú aktuálnu intenzitu kanálu na stmievanie LED. Tieto kontrolky sú riadené priamo s PWM ktoré sú zapojené aj do výkonových regulátorov (vid. Príloha D).

Posledná dióda indikuje stav zariadenia. Ak svieti dióda, na zariadenie je privedené napájacie napätie. Blikanie signalizuje príjem signálu na jednom z protokolov.

Pri prijímaní údajov cez protokoly v určitých časových intervaloch sa volá funkcia `offLed()`, ktorá vypne diódu nastaví a zapne časovač. Po vypršaní časovača, prerušenie ktoré nastane, znova rozsvieti diódu. Takto je zabezpečené blikanie a po dokončení prímu bude kontrolka stále rozsvietená. Počiatočné nastavenie a inicializácia časovača sa koná pomocou `initBlink()`.

## 7.4 Generovanie PWM

Hlavná časť firmwaru tvorí generátor signálu PWM. Takto sa ovládajú výkonové regulátory, ktoré zabezpečujú stmievanie a kontrolky na prednom paneli. Inicializáciu vykonáva `initPwm()`, ktorý bude dôkladne popísaný. Používa jeden z dvoch 32 bitových časovačov.

Ako pri všetkých rozhraniach aj tu je potrebné povoliť hodinový signál k časovačom, ktoré generujú PWM `LPC_SYSCON->SYSAHBCLKCTRL |= (1<<10)` a prepnúť vstupy a výstupy na výstupy PWM ktoré menia svoju logickú hodnotu vtedy, ak sa dosiahne hodnota v ich registroch `LPC_TMR32B1->MR0/MR1/MR2` alebo keď nastane reset časovača, ktorý máme nastavený na hodnotu v registri `LPC_TMR32B1->MR3`. Reset sa nastaví pomocou `LPC_TMR32B1->MCR` a zmena logického stavu pri zhode s registrami je určené pomocou nastavenia `LPC_TMR32B1->PWMC = (1<<0) | (1<<1) | (1<<2)`.

Ďalším dôležitým nastavením je nastavenie preddeličky a periódy PWM. Preddelička vydolí PCLK(systemová frekvencia) pred použitím tak, aby 32 bitový časovač tikal na frekvencii 12MHz `LPC_TMR32B1->PR = SystemCoreClock/12000000-1 = 4-1 => 48MHz/(3+1) = 12MHz`. Dĺžka periódy je nastavená v `LPC_TMR32B1->MR3 = 65535` a z toho odvodená frekvencia  $12 \times 10^6 \text{ Hz} / 65535 \approx 183 \text{ Hz}$ . Rozlíšenie generovaného signálu je 16 bitové. Takéto rozlíšenie je presnejšie pri DALI kde sa používa logaritmická krivka a pri DMX sa 8bitová hodnota vynásobí 257. Nevznikajú chyby pri zaokrúhľovaní.

Pri zvolenom mikrokontroléry sa PWM správa nasledovne. Pri vynulovaní(reset) časovača sa logické úrovne výstupov nastavujú na log. 0. Pri dosiahnutí hodnoty v ktorá je v registry MR0, MR1 alebo MR2, sa logická hodnota zmení na log. 1. Podľa nášho zapojenia sa v registroch nastavuje doba log. 0, keď regulátor(LED) nebude aktívny. Vstupné hodnoty z protokolov musia byť invertované, aby sme dostali požadovanú intenzitu svetla.

Pri protokole DALI sa používa tabuľka `const uint16_t dali_lut[255]` na prevod 8bitových hodnôt na logaritmickú krivku s 16bitovými hodnotami(vid. Príloha C).

## 7.5 DMX

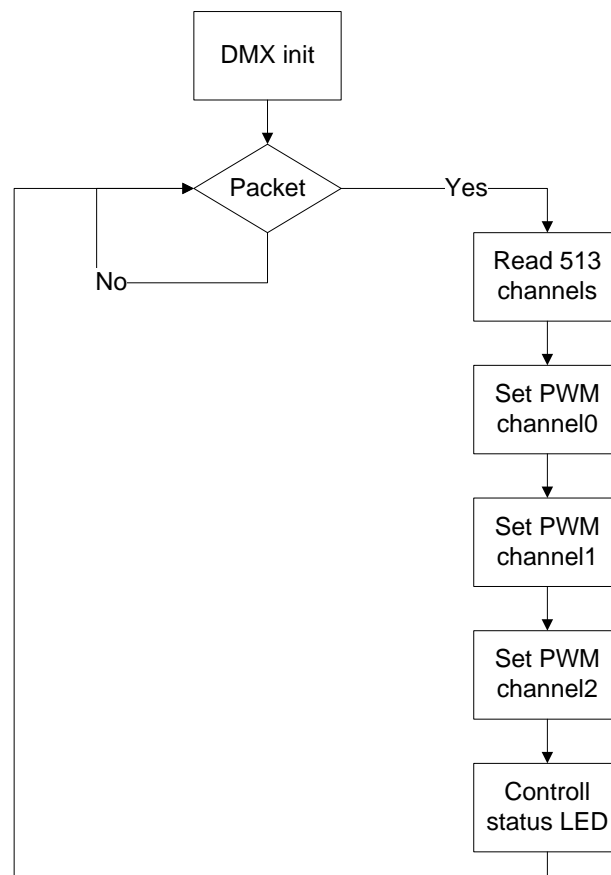
Zdrojový kód bol prevzatý projektu NXP AN10717. Prevzatý kód bol modifikovaný tak že pracuje s tromi kanálmi a ovláda signalizačnú LED.

DMX je sériový protokol a aj spracovanie paketov vychádza z daného predpokladu. `DmxInit()` Inicializuje sériovú komunikáciu cez rozhranie UART a prepne transceiver do prijímacieho módu privedením log. 0 na príslušný vývod. Nastaví sa rýchlosť protokolu a formát segmentu správy(8bitov,2 stop bity a bez parity) a povolenie prerušenia ak sa uskutoční príjem údajov. Prijaté údaje sa uložia do pola `dmx[]`.



Hodnoty kanálov sa vyčítajú z pola. Prvý kanál má hodnotu nastavenú na prepínači na paneli a nasledujúce kanála majú o jedna zvýšenú hodnotu. V okrajovom prípade keď je zvolený kanál 511 alebo 512 tak fungujú len dva alebo jeden výstupný kanál. Ostatné kanály majú adresu nad 512 a nie je ich možné adresovať.

Testovanie prebiehalo pomocou USB-DMX512 prevodníku od firmy SOH a programu DMX512 Light Controll a DMX Music Visualization. Komunikácia pri oboch programoch prebiehala bez problémov.

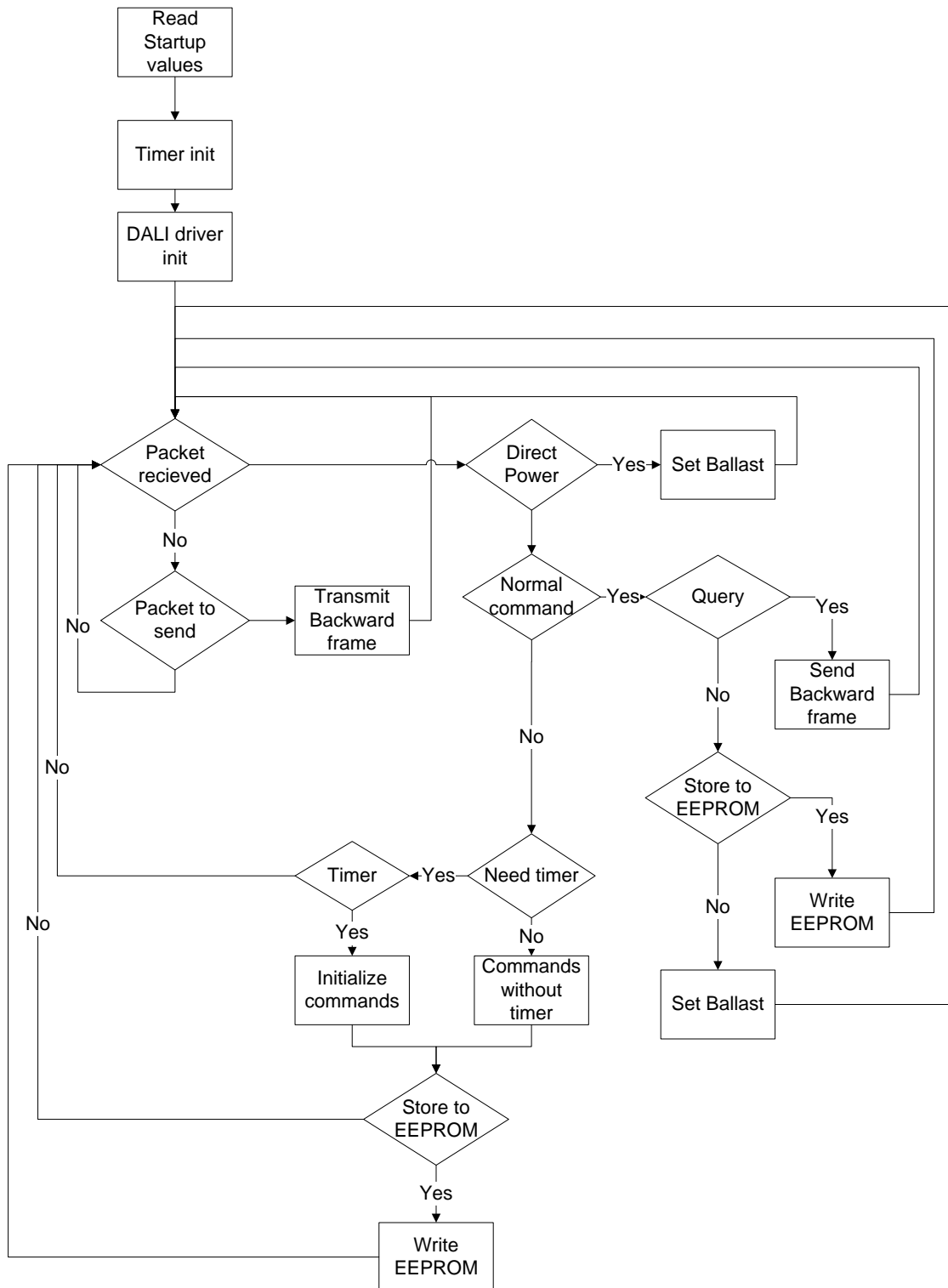


Obrázok 7.2 Flowchart DMX

## 7.6 DALI

DALI je oproti DMX zložitejší protokol, firmware bol inšpirovaný a obsahuje niektoré úseky kódu ktoré boli prezvané z projektu NXP AN10960. Podporuje obojsmernú komunikáciu a zariadenia obsahujú pamäť, ktorá ukladá nastavenie. Firmware je rozdelený na viacej častí. O dekodovanie a spracovanie signálov na zbernici sa stará `dali.c`, spracovanie paketov a vykonanie potrebných činností riadi `dali_command.c`, nastavovanie intenzity výstupného kanálu a časovanie stmievania je riešené v `dali_bls.c`, a o komunikáciu s pamäťou EEPROM sa stará `eeprom.c` ktorý

spolupracuje s ovládačom zbernice i2c.c a pochádza od firmy NXP. Zariadenie sa na zbernici správa ako 3 nezávislé zariadenia a každý kanál tvorí jedno zariadenie.



Obrázok 7.3 Flowchart spracovanie DALI

## 7.6.1 Spracovanie signálov na zbernici

Prebieha tu inicializácia zbernice `daliInit()`. Oproti pôvodnej verzii NXP AN10960 obsahuje ovládanie signalizačnej diódy komunikácie.

Ovládač používa 32 bitový časovač, slúži na meranie dĺžky času medzi logickými úrovňami. Signál zo sebou nesie aj časovanie. Do premenných `high` a `low` sa zapisuje pomocou časovača, dĺžka logickej hodnoty. Následne prichádza bitový posun pomocou funkcie `shift_bit(shift)`, ktorý riadi funkcia `decode()`. Postup pri bitovom posune sa určí podľa dĺžok logických hodnôt. Koniec prijímania paketu sa kontroluje `if(frame&0x10000)`, a následne prebieha rozdelenie na adresovú časť `addressDali` a príkazovú `command`. Na zmenu `flagRX` zareaguje funkcia ktoré preberie ďalšie spracovanie príkazu.

Pri odosielaní paketu sa najprv vytvorí paket a zmení hodnotu `flagTX`. Na túto zmenu zareaguje `dali.c` a prebehne odosielanie údajov. Odosielanie tiež riadi 32 bitový časovač. V tomto prípade sa počítajú odoslané bity a podľa pozícií v odoslanom pakete sa určí spôsob spracovania odosieleného paketu. Pri každom prerušení ktoré nastane podľa časovača za zmení logická hodnota na zbernici na požadovanú hodnotu.

## 7.6.2 Komunikácia s pamäťou

DALI musí uchovávať hodnoty nastavenia zariadenia. Mikrokontrolér obsahuje pamäť do ktorej je možné zapisovať ale má malý počet možných zápisov. Zvolená pamäť komunikuje s MCU cez zbernicu I2C. Ovládač zbernice pochádza priamo z ukážkových projektov k LPCXpresso. Modul `eeeprom.c` sa stará iba o adresovanie, čítanie, zápis a ukladanie načítaných hodnôt do SRAM pamäte mikrokontroléra z EEPROM a naopak.

Pri zapnutí zariadenia do režimu DALI prebehne inicializácia zbernice a načítanie počiatočných hodnôt `readAll()`. V prípade že sa jedná o prvé spustenie zariadenia a pamäť je prázdna, prebehne ešte zápis počiatočných hodnôt pomocou `defaultVal()`.

Prvý bajt v pamäti signalizuje či už zariadenie bolo zapnuté alebo sa jedná o prvé spustenie. Následne sú v pamäti zoradené nastavenia pre jednotlivé kanály. Údaje pre prvý kanál začínajú na adrese `0x01`, pre druhý na `0x21` a pre tretí na adrese `0x41`. Pri zmene nastavovacích hodnôt sa prepisuje celý sektor ktorý obsahuje nastavenia pre kanál, ktorý bol zmenený `writeChannel(c)`.

### 7.6.3 Spracovanie prijatých údajov

Modul `dali_command.c` rieši spracovanie prijatých paketov, vytváranie odpovedí a volanie funkcií na zmenu výstupného výkonu. Keď zariadenie pracuje v režime DALI, tento modul sa stará o inicializáciu potrebných modulov k funkčnosti protokolu. Nastaví sa komunikácia `daliInit()` (vid. kapitola 7.6), nastaví časovač generujúci prerušenie každých 10ms `initDaliTimer()` (vid. kapitola 7.6.4) a načíta nastavené hodnoty zariadenia z EEPROM pamäte `readStartup()` (vid. kapitola 7.6.2).

Spracovanie prijatého paketu preberá tento modul keď sa zmení hodnota `flagRX`. Po prijatí paketu sa zistí typ pomocou funkcie `daliHandle()`, či sa jedná o normálny príkaz, špeciálny príkaz, príkaz ktorý sa bude opakovať alebo ktorý nastavuje priamo intenzitu.

Hodnoty jednotlivých zariadení(kanálov) sa ukladajú z poľa s tromi hodnotami. Takto je zaručená prehľadnosť a možnosť prechádzať a kontrolovať hodnoty pomocou cyklu `for(i=0; i<3; i++)`, pri každom príkaze sa overí príslušnosť ku kanálu a pracuje sa len s hodnotami ktoré patri k nemu. Aj dlhé náhodné adresy sa ukladajú do poľa ale dvojrozmerného `long_address[][]`.

Pri normálnych príkazoch bolo treba rozlišovať príslušnosť kanálu k adrese kanálu, príslušnosť ku skupine alebo ak sa jedná o broadcast adresu, každý kanál musí zareagovať na správu. Ak kanál má byť obslužený, zmení sa logická hodnota v poli `active[]`, ktorá prislúcha k jednému kanálu s označením 0,1 alebo 2. Výber spôsobu spracovania sa vyberá pomocou príkazu `switch(command)` a pri každom príkaze sa kontroluje `active[]`, a vykoná sa príkaz na požadovanom kanály.

Spracovanie špeciálnych príkazov `handleSpecial()` funguje na podobnom princípe, ale tu sa nekontroluje stav v poli `active[]` ale podľa typu príkazu sa vykoná buď na každom kanály, alebo ktorému ešte nevypršal časovač `init_timer[]` alebo ešte kde sa zhoduje dlhá náhodná adresa `long_address[][]` s dlhou vyhľadávajúcou adresou `search_long[]`.

## 7.6.4 Riadenie výkonu a stmievanie kanálov

Aj tento modul musí vedieť pracovať s viacerými kanálmi a meniť iba hodnoty, ktoré prislúchajú k danému kanálu. V každej funkcii máme k dispozícii premennú `c`, ktorá určuje kanál s ktorým sa pracuje.

Časovač generuje každých 10ms prerušenie `SystemTick_Handler()`. Slúži na dodržanie časových intervalov pri inicializácii zariadenia, dodržanie intervalu medzi opakovanými príkazmi a na určenie presnej rýchlosti stmievania. Pri každom prerušení sa časovače znížia o jednu hodnotu alebo pri stmievaní sa vypočíta nový výkon kanálu.

Tento modul obsahuje funkcie na kontrolu nastavenia výkonu kanálu `setPower(c, new_value)`, ktorá overuje rozsah nastaveného výkonu tak, aby neprekročil maximálnu a minimálnu hodnotu a následne nastaví výkon kanálu. Funkcie `fadeScene(c, new_value)`, `fadeUp(c)`, `fadeDown(c)` pre stmievanie a prechody pomocou plynulého stmievania medzi hodnotami výkonu.

## 7.6.5 Testovanie protokolu

Komunikácia DALI bola testovaná pomocou USB-DALI prevodníku od firmy Tridonic a dodaného softwaru `masterCONFIGURATOR`, ktorý slúži na nastavovanie DALI zariadení ale dokáže vysielat aj ovládacie príkazy. Napájací zdroj na zbernicu bol použitý lacný 18V zdroj ktorý mal ako prúdový obmedzovač zapojený výkonový odpor. Pri testovaní komunikácia fungovala spoľahlivo. Miesta, kde vznikali problémy boli odladené a následne znova otestované.

# Záver

Výsledkom mojej práce je zariadenie určené na DIN lištu, ktoré dokáže ovládať vysokovýkonné LED cez protokoly DALI a DMX. Zo softwarovej stránky bolo zariadenie riadne otestované a zistilo sa, že je plne funkčné. Hardwarová časť bola náročnejšia vzhľadom na moje predchádzajúce skúsenosti. Firma ELKO EP poskytla vynikajúcu pomoc pri realizácii hardwaru pri ktorej mi poskytol veľkú pomoc aj vedúci bakalárskej práce.

Hardware je plne funkčný. Oproti pôvodnému zadaniu vznikli menšie zmeny ktoré vyplývali z dostupnosti vhodných súčiastok na trhu. Zariadenie je schopné pracovať s prúdom iba 1A oproti 2A, ktoré bolo v zadaní ale rozsah vstupného napätia je od 6V až do 40V. Po konzultácií s ELKO EP stačilo zariadenie vyrobiť iba vo verzii na DIN lištu. Hotový výrobok bude firmou dôkladne otestovaný a až po testovaní bude vytvorený návrh na veľkosť krabice KU68.

Zariadenie bude možné rozširovať. Zapojenie je realizované tak aby bolo možné softwarovo doimplementovať podporu na komunikačný protokol DMX512A, ktorý podporuje obojsmernú komunikáciu. Ďalšie rozšírenia by mohli vzniknúť v hardwarovej konfigurácii. Použité ovládače na LED sú schopné pracovať až do vstupného napätia 65V. Zmenou 3.3V regulátora napätia na iný vhodnejší, ktorý dokáže pracovať s väčším vstupným napätím by bolo možné dosiahnuť výkon až 60W na kanál a 180W na celé zariadenie.

Táto práca mi umožnila zoznámiť sa s programovaním ARM mikrokontrolérov. V prostredí IDE sa veľmi dobre pracuje a ku zvolenému mikrokontroléru je prehľadná dokumentácia podporená ukázkovými projektmi. Zaujímavou novinkou bol aj hardware, návrh a výroba finálneho produktu s ktorým som sa ešte nikdy predtým nestretol. Počiatočné ťažkosti som ľahko prekonal vďaka veľkej podpory zo strany školy a firmy.

Chcel by som ďalej pokračovať v spolupráci s firmou ELKO EP na vývoji zariadenia. Zariadenie sa ešte zmení a nastanú na ňom zmeny podľa zvyklostí firmy a môže sa vytvoriť aj verzia v iných rozmeroch.

# Literatúra

- [1] ANSI E1.11. *American National Standard E1.11 - 2004 Entertainment Technology USITT DMX512-A: Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories*. New York: Entertainment Services and Technology Association, 2008.
- [2] NXP SEMICONDUCTORS. *AN10717: DMX512 communication using the LPC2000* [online]. 1. vyd. Netherlands, 2008 [cit. 2012-03-14]. Dostupné z URL: [http://www.nxp.com/documents/application\\_note/AN10717.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10717.pdf)
- [3] USITT. *DMX512 Faq* [online]. [cit. 2012-03-14]. Dostupné z URL: <http://www.usitt.org/Resources/Standards2/DMX512/DMX512FAQ#a12>
- [4] DALI AG. *DALI AG: Digital Addressable Lighting Interface* [online]. Frankfurt, 2001 [cit. 2012-03-14]. Dostupné na URL: [http://www.dali-ag.org/c/manual\\_gb.pdf](http://www.dali-ag.org/c/manual_gb.pdf)
- [5] *NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004: Digital Addressable Lighting Interface (DALI) Control Devices Protocol PART 1-2004 General Requirements* [online]. Rosslyn: National Electrical Manufacturers Association, 2004 [cit. 2012-03-14]. Dostupné na URL: [http://www.archenergy.com/lrp/lightingperf\\_standards/DALI%20V1\\_13.pdf](http://www.archenergy.com/lrp/lightingperf_standards/DALI%20V1_13.pdf)
- [6] *NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004: Digital Addressable Lighting Interface (DALI) Control Devices Protocol PART 2-2004 Specific Commands for Control Devices* [online]. Rosslyn: National Electrical Manufacturers Association, 2004 [cit. 2012-03-14]. Dostupné na URL: [http://www.archenergy.com/lrp/lightingperf\\_standards/DALI%20Pt2%20V1\\_3.pdf](http://www.archenergy.com/lrp/lightingperf_standards/DALI%20Pt2%20V1_3.pdf)
- [7] NXP SEMICONDUCTORS. *AN10760: USB - DALI master using the LPC2141* [online]. 1. vyd. Netherlands, 2008 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z URL: [http://www.nxp.com/documents/application\\_note/AN10760.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10760.pdf)
- [8] GRAMPP, Magnus. MOTOROLA SEMICONDUCTORS. *Digitally Addressable Lighting Interface (DALI) Unit Using the MC68HC908KX8: Designer Reference Manual* [online]. 3. vyd. Helsingborg, 2002 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z URL: [http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref\\_manual/DRM004.pdf](http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/DRM004.pdf)
- [9] NXP SEMICONDUCTORS. *AN10960: DALI slave using the LPC1112* [online]. 1. vyd. Netherlands, 2010 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z URL: [http://www.nxp.com/documents/application\\_note/AN10960.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10960.pdf)
- [10] Barr, Michael. *"Pulse Width Modulation," Embedded Systems Programming* [online]. 2001. pp. 103-104 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z URL: <http://www.barrgroup.com/Embedded-Systems/How-To/PWM-Pulse-Width-Modulation>

- [11] SCHWARZ, Josef, Richard JOSEF a Josef STRNADEL. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Mikroprocesorové a vestavěné systémy IMP: Studijní opora*. 1. vyd. Brno, 2006.
- [12] OSRAM. *QUICKTRONIC® DALI/DIM Technical Guide.: Dimmable Electronic Control Gears for Fluorescent Lamps* [online]. Munich, 2009 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z URL: [http://www.osram.cz/global/pdf/Professional/ECG\\_%26\\_LMS/LMS/Brochures/130T011GB\\_DALI.pdf](http://www.osram.cz/global/pdf/Professional/ECG_%26_LMS/LMS/Brochures/130T011GB_DALI.pdf)
- [13] NXP SEMICONDUCTORS. *LPCXpresso: Getting started with NXP LPCXpresso* [online]. 11. vyd. Netherlands, 2011 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z URL: [http://www.nxp.com/documents/other/LPCXpresso\\_Getting\\_Started\\_Guide.pdf](http://www.nxp.com/documents/other/LPCXpresso_Getting_Started_Guide.pdf)
- [14] NXP SEMICONDUCTORS. *LPC1110/11/12/13/14: 32-bit ARM Cortex-M0 microcontroller; up to 32 kB flash and 8 kB SRAM* [online]. 6. vyd. Netherlands, 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z URL: <http://ics.nxp.com/products/lpc1000/datasheet/lpc1110.lpc1111.lpc1112.lpc1113.lpc1114.pdf>
- [15] NXP SEMICONDUCTORS. *UM10398: LPC111x/LPC11Cxx User manual* [online]. 6. vyd. Netherlands, 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z URL: <http://ics.nxp.com/support/documents/microcontrollers/pdf/user.manual.lpc11xx.lpc11cxx.pdf>
- [16] TEXAS INSTRUMENTS. *LM3414/LM3414HV: 1A 60W\* Common Anode Capable Constant Current Buck LEDDriver Requires No External Current Sensing Resistor* [online]. Dallas, 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3414.pdf>
- [17] ALTIUM. *DMX512 Lighting Control with the NB3000 – Part 1* [online]. 2009 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z URL: [http://www.altium.com/community/newsletters/december-09/en/nanoboard\\_controller.cfm](http://www.altium.com/community/newsletters/december-09/en/nanoboard_controller.cfm)
- [18] INELS. *Prevodník D/A 0(1) - 10 V DAC2-04M* [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z URL: <http://www.inels.sk/index.php?sekce=produkty&akce=show&id=80>



# Zoznam príloh

|           |   |
|-----------|---|
| Príloha A | Manuál  |
| Príloha B | Tabuľky s príkazmi DALI   |
| Príloha C | Tabuľky s hodnotami prevodu z 8bitov na 16b s logaritmickou krivkou |
| Príloha D | Schémy zapojenia, plošné spoje a zoznamy súčiastok                  |
| Príloha E | CD s firmwarom, schémami zapojenia a nákresmi plošných spojov       |

# Príloha A

## Manuál

### 1. Napájanie

K napájaniu zariadenia je potrebné použiť jednosmerný napájací zdroj s napätím od 6V do 40V. Nikdy neprekračovať maximálne napätie 40Vdc, väčšie napätie by mohlo zničiť zariadenie. Výkon zdroja je potrebné zvoliť podľa počtu a typu LED diód.

### 2. Pripojenie komunikačnej zbernice

Zariadenie je schopné pracovať s dvomi typmi zberníc. Odporúča sa zapojiť iba jednu zbernicu cez ktorú prebieha komunikácia zo zariadením.

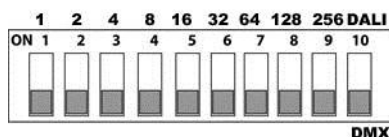
Zbernica DMX512 je trojvodičová. Topológia a typy káblov sa riadia podľa špecifikácie DMX512. Ak je zariadenia konečné na zbernici, odporúča sa použiť 120 ohmový odpor ako ukončenie zbernice.

Zbernica DALI sa pripája cez dva vodiče. Vstup aj výstup je v rovnakej svorkovnici. Do svorkovnice je možné zapojiť dva vodiče pre jeden signálový vodič a dva pre druhý. Toto je potrebné ak zbernica má pokračovať do ďalšieho zariadenia. Na polarite vodičov nezáleží. Topológia a typy káblov sa riadia podľa špecifikácie DALI.

### 3. Ovládanie

Jednotka na prednom paneli obsahuje štyri LED diódy ktoré slúžia na indikáciu napájania, prímu signálu a kontrolu stavu výstupných kanálov. Zelená LED dióda pri trvalom svite signalizuje napájacie napätie a blikanie signalizuje komunikáciu. Žlté LED diódy svojou intenzitou signalizujú aktuálny stav a výkon jednotlivých kanálov.

Výber režimu činnosti sa nastavuje pomocou posuvného prepínača označeného číslom 10. V dolnej polohe zariadenie pracuje v režime DMX512 a v hornej polohe pracuje s protokolom DALI.



Obrázok A.1 Prepínač DIP

Pred zapnutím zariadenia a pripojením LED diód je potrebné nastaviť výstupný prúd na každom kanáli ktorý závisí od použitých LED. Nastavovanie prebieha pomocou otočného prepínača. Polohy a výstupný výkon zobrazuje nasledujúca tabuľka.

| Poloha | Výstupný prúd(mA) |
|--------|-------------------|
| 0      | 350               |
| 1      | 500               |
| 2      | 700               |
| 3      | 850               |
| 4      | 450               |
| 5      | 600               |
| 6      | 800               |
| 7      | 950               |
| 8      | 840               |
| 9      | 1000              |

**Tabuľka A.0.1 Nastavenie prúdu pomocou otočného prepínača**

Zariadenie obsahuje tri tlačidlá. Pomocou nich je možné overiť funkčnosť a správne zapojenie LED. Dlhé stlačenie, zapne kanál na plný výkon, krátke stlačenie vypne zvolený kanál.

#### **4. Zapojenie LED**

LED diódy sa zapájajú sériovo za sebou na jeden kanál. RGB LED sa zapája so spoločnou anódou(+). Spoločnú anódu možno použiť aj u iných LED. Napájacie napätie je odporúčané zvoliť presne podľa počtu a typu diód. Odporúčaný rozdiel medzi vstupným napätím a požiadavkami LED je 2V.

##### Príklad 1:

3ks 1W biela LED s odberom 350mA a napájacím napätím 3.4V

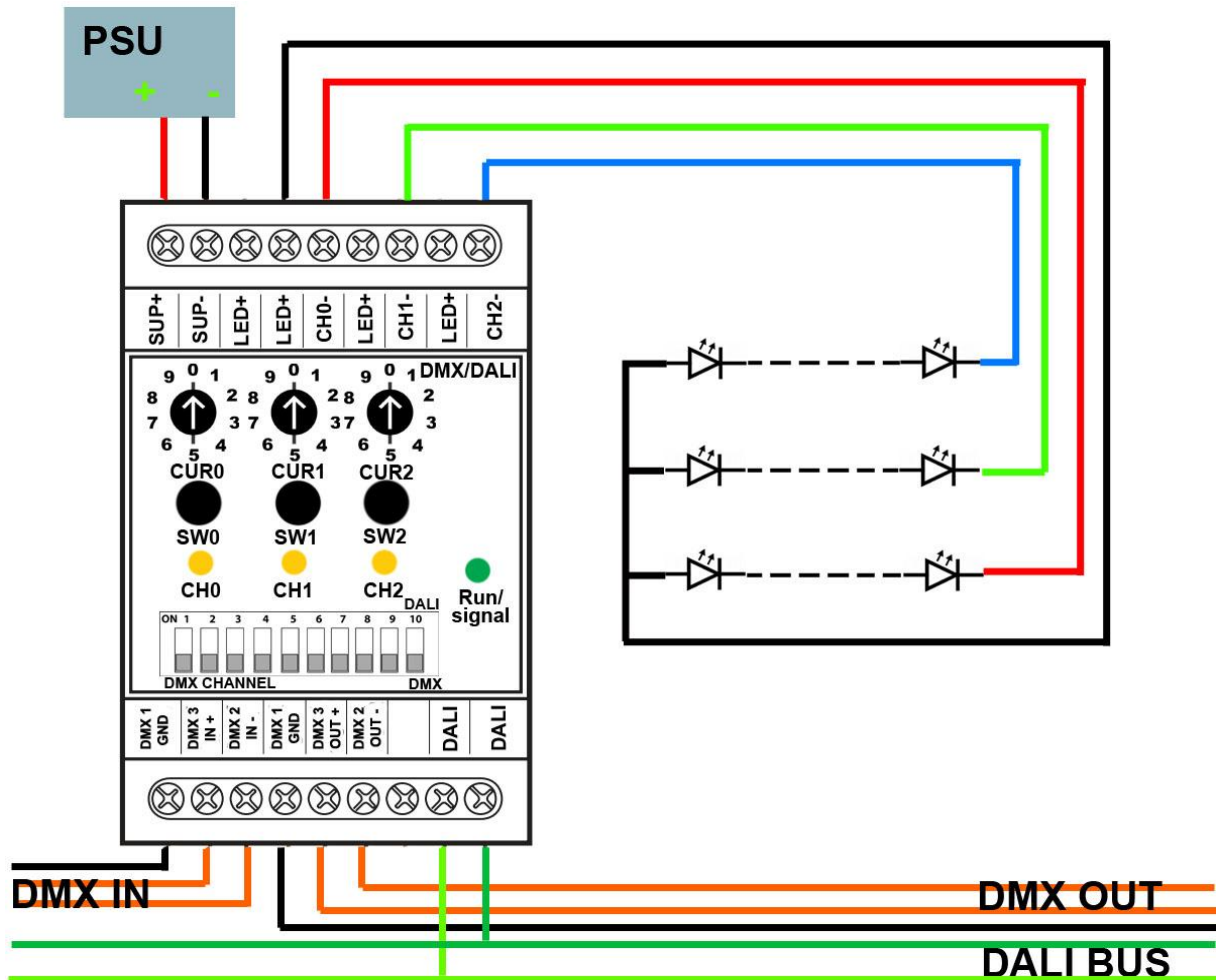
Napätie na 3ks LED  $3.4 * 3 = 10.2 \Rightarrow$  odporúčaný napájací zdroj max. 12.2V

##### Príklad 2:

Na tento istý napájací zdroj chceme napojiť 1W červené LED s odberom 350mA a napájacím napätím 2,1V. Koľko LED musíme pripojiť na zariadenie?

$12.2/2.1 = 5.8$ , pripojíme 5 LED,  $5 * 2.1 = 10.5$ , táto hodnota je stále v povolenom rozsahu.

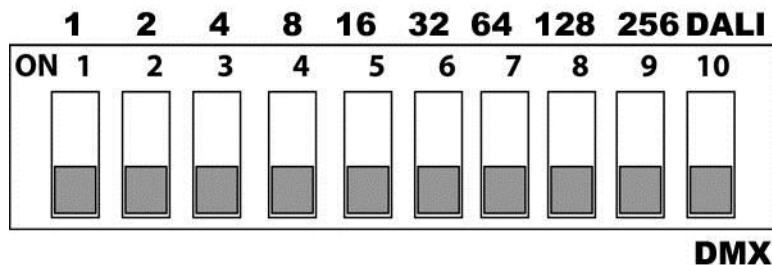
Zariadenie je schopné pracovať aj s väčšími napät'ovými rozdielmi ale nie je garantovaná spoľahlivosť.



Obrázok A.2 Nákres inštalácie zariadenia

## 5. Pridelenie adresy

Pridelenie adresy pri režime činnosti DMX512 sa vykonáva pomocou posuvných prepínačov. Každý prepínač predstavuje jeden bit výslednej adresy. Výsledná počiatková adresa sa vypočíta sčítaním hodnou pri prepínačoch v hornej polohe. Hodnoty jednotlivých prepínačov znázorňuje nasledujúci obrázok.



Obrázok A.3 Prepínač DIP



počiatková adresa 256= kanál 0, 256+1=257=kanál 1, 256+2=268 = kanál 2



počiatková adresa  $1+8+64 = 73$ =kanál 0,  $73+1=74$ =kanál 1,  $73+2=75$  = kanál 2

Počiatočná adresa určuje adresu kanálu číslo 0, kanál číslo 1 má adresu o 1 väčšiu ako počiatočná adresa a kanál 2 má adresu o 2 väčšiu ako počiatočná adresa. Ak je číslo kanálu väčšie ako 512, tak daný kanál bude nefunkčný.

Pridelenie adresy DALI prebieha automaticky alebo fyzickým výberom zariadenia. Fyzický výber znamená stlačenie tlačidla pre zvolený kanál. Zariadenie sa správa ako tri nezávislé zariadenia.

## Príloha B

### Tabuľky s príkazmi DALI

| Hodnota    | Popis   | Odpoveď |
|------------|---|---------|
| 0x00       | Vypni osvetlenie bez stmievania   |         |
| 0x01       | Zvýš úroveň osvetlenia s použitím prednastavením hodnoty stmievania             |         |
| 0x02       | Zníž úroveň osvetlenia s použitím prednastavením hodnoty stmievania             |         |
| 0x03       | Zvýš úroveň osvetlenia o 1 krok bez stmievania                                  |         |
| 0x04       | Zníž úroveň osvetlenia o 1 krok bez stmievania                                  |         |
| 0x05       | Nastav úroveň osvetlenia na maximálnu hodnotu                                   |         |
| 0x06       | Nastav úroveň osvetlenia na minimálnu hodnotu                                   |         |
| 0x07       | Zníž úroveň osvetlenia o 1 krok bez stmievania a vypni ak je pod min. úrovňou   |         |
| 0x08       | Zvýš úroveň osvetlenia o 1 krok bez stmievania a zapni ak je osvetlenie vypnuté |         |
| 0x10+scéna | Nastav úroveň osvetlenia na hodnotu scény                                       |         |

Tabuľka B.1 Ovládacie príkazy DALI

| Hodnota      | Popis   | Odpoveď |
|--------------|---|---------|
| 0x20         | Reset   |         |
| 0x21         | Ulož hodnota osvetlenia do DTR                        |         |
| 0x2A         | Ulož DTR ako maximálna hodnota                        |         |
| 0x2B         | Ulož DTR ako minimálna hodnota                        |         |
| 0x2C         | Ulož DTR ako hodnota osvetlenia pri poruche napájania |         |
| 0x2D         | Ulož DTR ako hodnota osvetlenia pri zapnutí           |         |
| 0x2E         | Ulož DTR ako čas stmievania                           |         |
| 0x2F         | Ulož DTR ako hodnota stmievania                       |         |
| 0x40+scéna   | Ulož DTR ako hodnota osvetlenia scény                 |         |
| 0x50+scéna   | Odstráň hodnotu osvetlenia scény                      |         |
| 0x60+skupina | Pridaj zariadenie do skupiny                          |         |
| 0x70+skupina | Odober zariadenie zo skupiny                          |         |
| 0x80         | Ulož DTR ako krátka adresa                            |         |

Tabuľka B.2 Nastavovacie príkazy DALI

| <b>Hodnota</b> | <b>Popis</b>   | <b>Odpoveď</b> |
|----------------|--|----------------|
| 0x90           | Dotaz na stav zariadenia                             | XX             |
| 0x91           | Dotaz na funkčnosť zariadenia                        | ÁNO/NIE        |
| 0x92           | Dotaz na funkčnosť žiarovky (nepodporuje zariadenie) | ÁNO/NIE        |
| 0x93           | Dotaz na stav zapnutia žiarovky                      | ÁNO/NIE        |
| 0x94           | Dotaz na prekročenie min. alebo max hodnoty          | ÁNO/NIE        |
| 0x95           | Dotaz na stav Reset                                  | ÁNO/NIE        |
| 0x96           | Dotaz na chýbajúcu krátku adresu                     | ÁNO/NIE        |
| 0x97           | Dotaz na číslo verzie zariadenia                     | XX             |
| 0x98           | Dotaz na obsah DTR                                   | XX             |
| 0x99           | Dotaz na typ zariadenia                              | XX             |
| 0x9A           | Dotaz na fyzické minimum zariadenia                  | XX             |
| 0x9B           | Dotaz na stav zlyhania napájania                     | XX             |
| 0xA0           | Dotaz na aktuálnu hodnotu osvetlenia                 | XX             |
| 0xA1           | Dotaz na maximálnu hodnotu osvetlenia                | XX             |
| 0xA2           | Dotaz na minimálnu hodnotu osvetlenia                | XX             |
| 0xA3           | Dotaz na hodnotu zapnutia zariadenia                 | XX             |
| 0xA4           | Dotaz na hodnotu pri poruche zariadenia              | XX             |
| 0xA5           | Dotaz na čas stmievania a hodnoty stmievania         | XY             |
| 0xB0+scéna     | Dotaz na hodnotu scény                               | XX             |
| 0xC0           | Dotaz na príslušnosť do skupín 0-7                   | XX             |
| 0xC1           | Dotaz na príslušnosť do skupín 8-15                  | XX             |
| 0xC2           | Dotaz na náhodnú adresu HH                           | HH             |
| 0xC3           | Dotaz na náhodnú adresu MM                           | MM             |
| 0xC4           | Dotaz na náhodnú adresu LL                           | LL             |

**Tabuľka B.3 Dotazovacie príkazy**

| <b>Hodnota</b> | <b>Popis</b>   | <b>Odpoveď</b> |
|----------------|--|----------------|
| A1 00          | Zastav špeciálne procesy                             |                |
| A3 XX          | Ulož hodnotu XX do DTR                               |                |
| A5 XX          | Spusti adresačné príkazy pre zariadenie s adresou XX |                |
| A7 00          | Vygeneruj náhodnú adresu                             |                |
| A9 00          | Porovnaj náhodnú adresu                              |                |
| AB 00          | Odstráň z porovnávaní adres zariadenia               |                |
| B1 HH          | Ulož HH ako vyhľadávajúcu adresu HH                  |                |
| B3 MM          | Ulož MM ako vyhľadávajúcu adresu MM                  |                |
| B5 LL          | Ulož LL ako vyhľadávajúcu adresu LL                  |                |
| B7 XX          | Ulož XX do vybraného zariadenia ako krátku adresu    |                |
| B9 XX          | Skontroluj či zariadenie má XX krátku adresu         | ÁNO/NIE        |
| BB 00          | Dotaz na krátku adresu vybraného zariadenia          | XX             |
| BD 00          | Prepni do fyzického výberu zariadenia                |                |

**Tabuľka B.4 Špeciálne príkazy DALI**



## **Príloha C**

# **Tabuľky s hodnotami prevodu z 8bitov na 16b s logaritmickou krivkou**

| 8bit vstup | Intenzita svetla | 16bit výstup | 8bit vstup | Intenzita svetla | 16bit výstup | 8bit vstup | Intenzita svetla | 16bit výstup |
|------------|------------------|--------------|------------|------------------|--------------|------------|------------------|--------------|
| 1          | 0,100            | 66           | 51         | 0,392            | 257          | 101        | 1,534            | 1005         |
| 2          | 0,103            | 67           | 52         | 0,402            | 264          | 102        | 1,576            | 1033         |
| 3          | 0,106            | 69           | 53         | 0,414            | 271          | 103        | 1,620            | 1062         |
| 4          | 0,109            | 71           | 54         | 0,425            | 279          | 104        | 1,665            | 1091         |
| 5          | 0,112            | 73           | 55         | 0,437            | 286          | 105        | 1,711            | 1121         |
| 6          | 0,115            | 75           | 56         | 0,449            | 294          | 106        | 1,758            | 1152         |
| 7          | 0,118            | 77           | 57         | 0,461            | 302          | 107        | 1,807            | 1184         |
| 8          | 0,121            | 79           | 58         | 0,474            | 311          | 108        | 1,857            | 1217         |
| 9          | 0,124            | 82           | 59         | 0,487            | 319          | 109        | 1,908            | 1251         |
| 10         | 0,128            | 84           | 60         | 0,501            | 328          | 110        | 1,961            | 1285         |
| 11         | 0,131            | 86           | 61         | 0,515            | 337          | 111        | 2,015            | 1321         |
| 12         | 0,135            | 88           | 62         | 0,529            | 347          | 112        | 2,071            | 1357         |
| 13         | 0,139            | 91           | 63         | 0,543            | 356          | 113        | 2,128            | 1395         |
| 14         | 0,143            | 93           | 64         | 0,559            | 366          | 114        | 2,187            | 1433         |
| 15         | 0,147            | 96           | 65         | 0,574            | 376          | 115        | 2,248            | 1473         |
| 16         | 0,151            | 99           | 66         | 0,590            | 387          | 116        | 2,310            | 1514         |
| 17         | 0,155            | 101          | 67         | 0,606            | 397          | 117        | 2,374            | 1556         |
| 18         | 0,159            | 104          | 68         | 0,623            | 408          | 118        | 2,440            | 1599         |
| 19         | 0,163            | 107          | 69         | 0,640            | 420          | 119        | 2,507            | 1643         |
| 20         | 0,168            | 110          | 70         | 0,658            | 431          | 120        | 2,577            | 1689         |
| 21         | 0,173            | 113          | 71         | 0,676            | 443          | 121        | 2,648            | 1735         |
| 22         | 0,177            | 116          | 72         | 0,695            | 455          | 122        | 2,721            | 1783         |
| 23         | 0,182            | 119          | 73         | 0,714            | 468          | 123        | 2,797            | 1833         |
| 24         | 0,187            | 123          | 74         | 0,734            | 481          | 124        | 2,874            | 1884         |
| 25         | 0,193            | 126          | 75         | 0,754            | 494          | 125        | 2,954            | 1936         |
| 26         | 0,198            | 130          | 76         | 0,775            | 508          | 126        | 3,035            | 1989         |
| 27         | 0,203            | 133          | 77         | 0,796            | 522          | 127        | 3,119            | 2044         |
| 28         | 0,209            | 137          | 78         | 0,819            | 536          | 128        | 3,206            | 2101         |
| 29         | 0,215            | 141          | 79         | 0,841            | 551          | 129        | 3,294            | 2159         |
| 30         | 0,221            | 145          | 80         | 0,864            | 567          | 130        | 3,386            | 2219         |
| 31         | 0,227            | 149          | 81         | 0,888            | 582          | 131        | 3,479            | 2280         |
| 32         | 0,233            | 153          | 82         | 0,913            | 598          | 132        | 3,576            | 2343         |
| 33         | 0,240            | 157          | 83         | 0,938            | 615          | 133        | 3,675            | 2408         |
| 34         | 0,246            | 161          | 84         | 0,964            | 632          | 134        | 3,776            | 2475         |
| 35         | 0,253            | 166          | 85         | 0,991            | 649          | 135        | 3,881            | 2543         |
| 36         | 0,260            | 170          | 86         | 1,018            | 667          | 136        | 3,988            | 2614         |
| 37         | 0,267            | 175          | 87         | 1,047            | 686          | 137        | 4,099            | 2686         |
| 38         | 0,275            | 180          | 88         | 1,076            | 705          | 138        | 4,212            | 2760         |
| 39         | 0,282            | 185          | 89         | 1,105            | 724          | 139        | 4,329            | 2837         |
| 40         | 0,290            | 190          | 90         | 1,136            | 744          | 140        | 4,449            | 2915         |
| 41         | 0,298            | 195          | 91         | 1,167            | 765          | 141        | 4,572            | 2996         |
| 42         | 0,306            | 201          | 92         | 1,200            | 786          | 142        | 4,698            | 3079         |
| 43         | 0,315            | 206          | 93         | 1,233            | 808          | 143        | 4,828            | 3164         |
| 44         | 0,324            | 212          | 94         | 1,267            | 830          | 144        | 4,962            | 3252         |
| 45         | 0,332            | 218          | 95         | 1,302            | 853          | 145        | 5,099            | 3342         |
| 46         | 0,342            | 224          | 96         | 1,338            | 877          | 146        | 5,240            | 3434         |
| 47         | 0,351            | 230          | 97         | 1,375            | 901          | 147        | 5,385            | 3529         |
| 48         | 0,361            | 236          | 98         | 1,413            | 926          | 148        | 5,535            | 3627         |
| 49         | 0,371            | 243          | 99         | 1,452            | 952          | 149        | 5,688            | 3727         |
| 50         | 0,381            | 250          | 100        | 1,492            | 978          | 150        | 5,845            | 3831         |

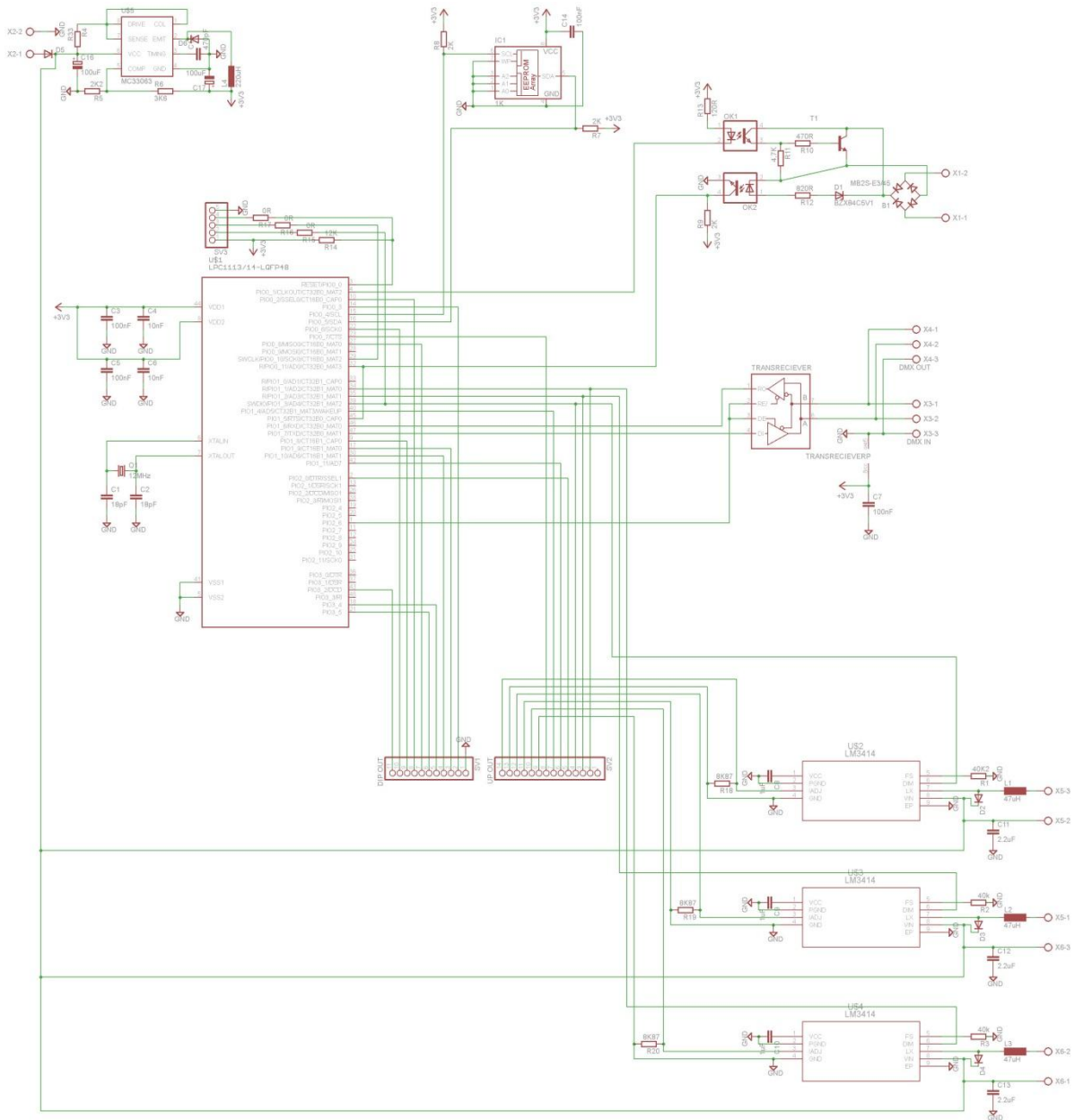
Tabuľka C.1 Prevod 8bitového čísla na 16bitové číslo s logaritmickou krivkou, 1. časť

| 8bit vstup | Intenzita<br>svetla | 16bit výstup | 8bit vstup | Intenzita<br>svetla | 16bit výstup | 8bit vstup | Intenzita<br>svetla | 16bit výstup |
|------------|---------------------|--------------|------------|---------------------|--------------|------------|---------------------|--------------|
| 151        | 6,007               | 3937         | 201        | 23,526              | 15418        | 251        | 92,135              | 60381        |
| 152        | 6,173               | 4046         | 202        | 24,177              | 15844        | 252        | 94,686              | 62052        |
| 153        | 6,344               | 4158         | 203        | 24,846              | 16283        | 253        | 97,307              | 63770        |
| 154        | 6,520               | 4273         | 204        | 25,534              | 16734        | 254        | 100,000             | 65535        |
| 155        | 6,700               | 4391         | 205        | 26,241              | 17197        |            |                     |              |
| 156        | 6,886               | 4513         | 206        | 26,967              | 17673        |            |                     |              |
| 157        | 7,076               | 4637         | 207        | 27,713              | 18162        |            |                     |              |
| 158        | 7,272               | 4766         | 208        | 28,480              | 18665        |            |                     |              |
| 159        | 7,473               | 4898         | 209        | 29,269              | 19181        |            |                     |              |
| 160        | 7,680               | 5033         | 210        | 30,079              | 19712        |            |                     |              |
| 161        | 7,893               | 5173         | 211        | 30,911              | 20258        |            |                     |              |
| 162        | 8,111               | 5316         | 212        | 31,767              | 20819        |            |                     |              |
| 163        | 8,336               | 5463         | 213        | 32,646              | 21395        |            |                     |              |
| 164        | 8,567               | 5614         | 214        | 33,550              | 21987        |            |                     |              |
| 165        | 8,804               | 5769         | 215        | 34,479              | 22596        |            |                     |              |
| 166        | 9,047               | 5929         | 216        | 35,433              | 23221        |            |                     |              |
| 167        | 9,298               | 6093         | 217        | 36,414              | 23864        |            |                     |              |
| 168        | 9,555               | 6262         | 218        | 37,422              | 24524        |            |                     |              |
| 169        | 9,820               | 6435         | 219        | 38,457              | 25203        |            |                     |              |
| 170        | 10,091              | 6613         | 220        | 39,522              | 25901        |            |                     |              |
| 171        | 10,371              | 6796         | 221        | 40,616              | 26618        |            |                     |              |
| 172        | 10,658              | 6985         | 222        | 41,740              | 27354        |            |                     |              |
| 173        | 10,953              | 7178         | 223        | 42,895              | 28112        |            |                     |              |
| 174        | 11,256              | 7377         | 224        | 44,083              | 28890        |            |                     |              |
| 175        | 11,568              | 7581         | 225        | 45,303              | 29689        |            |                     |              |
| 176        | 11,888              | 7791         | 226        | 46,557              | 30511        |            |                     |              |
| 177        | 12,217              | 8006         | 227        | 47,846              | 31356        |            |                     |              |
| 178        | 12,555              | 8228         | 228        | 49,170              | 32224        |            |                     |              |
| 179        | 12,902              | 8456         | 229        | 50,531              | 33115        |            |                     |              |
| 180        | 13,260              | 8690         | 230        | 51,930              | 34032        |            |                     |              |
| 181        | 13,627              | 8930         | 231        | 53,367              | 34974        |            |                     |              |
| 182        | 14,004              | 9177         | 232        | 54,844              | 35942        |            |                     |              |
| 183        | 14,391              | 9431         | 233        | 56,362              | 36937        |            |                     |              |
| 184        | 14,790              | 9692         | 234        | 57,922              | 37959        |            |                     |              |
| 185        | 15,199              | 9961         | 235        | 59,526              | 39010        |            |                     |              |
| 186        | 15,620              | 10236        | 236        | 61,173              | 40090        |            |                     |              |
| 187        | 16,052              | 10520        | 237        | 62,866              | 41200        |            |                     |              |
| 188        | 16,496              | 10811        | 238        | 64,607              | 42340        |            |                     |              |
| 189        | 16,953              | 11110        | 239        | 66,395              | 43512        |            |                     |              |
| 190        | 17,422              | 11418        | 240        | 68,233              | 44716        |            |                     |              |
| 191        | 17,905              | 11734        | 241        | 70,121              | 45954        |            |                     |              |
| 192        | 18,400              | 12059        | 242        | 72,062              | 47226        |            |                     |              |
| 193        | 18,909              | 12392        | 243        | 74,057              | 48533        |            |                     |              |
| 194        | 19,433              | 12735        | 244        | 76,107              | 49877        |            |                     |              |
| 195        | 19,971              | 13088        | 245        | 78,213              | 51257        |            |                     |              |
| 196        | 20,524              | 13450        | 246        | 80,378              | 52676        |            |                     |              |
| 197        | 21,092              | 13822        | 247        | 82,603              | 54134        |            |                     |              |
| 198        | 21,675              | 14205        | 248        | 84,889              | 55632        |            |                     |              |
| 199        | 22,275              | 14598        | 249        | 87,239              | 57172        |            |                     |              |
| 200        | 22,892              | 15002        | 250        | 89,654              | 58755        |            |                     |              |

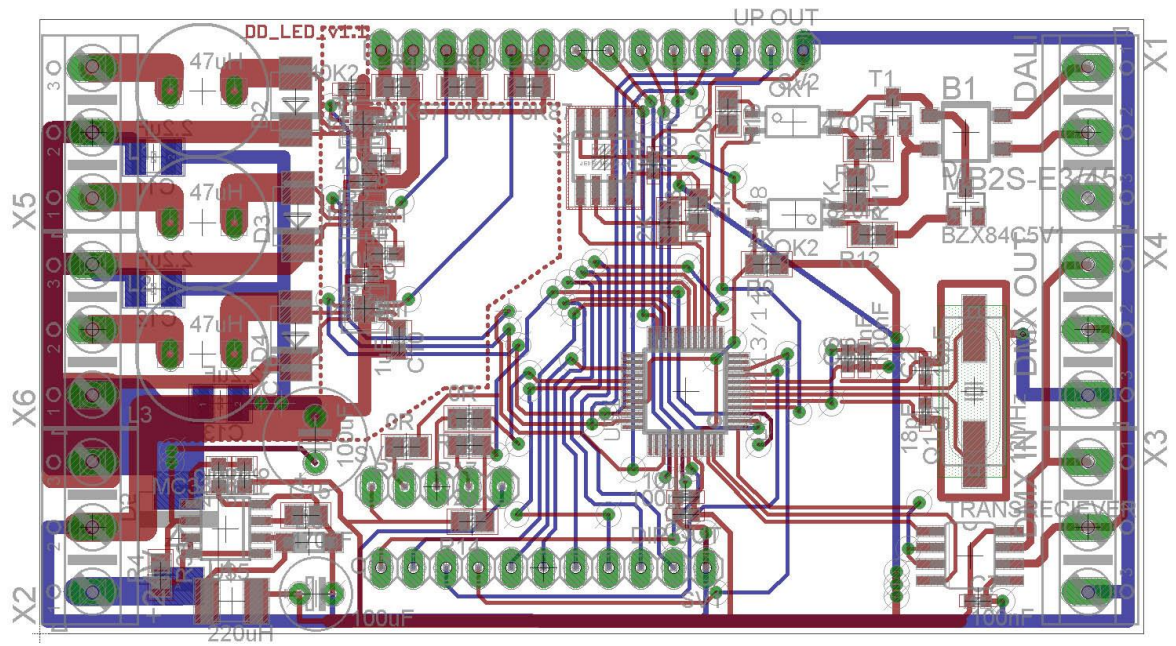
Tabuľka C.2 Prevod 8bitového čísla na 16bitové číslo s logaritmickou krivkou, 2. časť

# Príloha D

## Schémy zapojenia, plošné spoje a zoznamy súčiastok



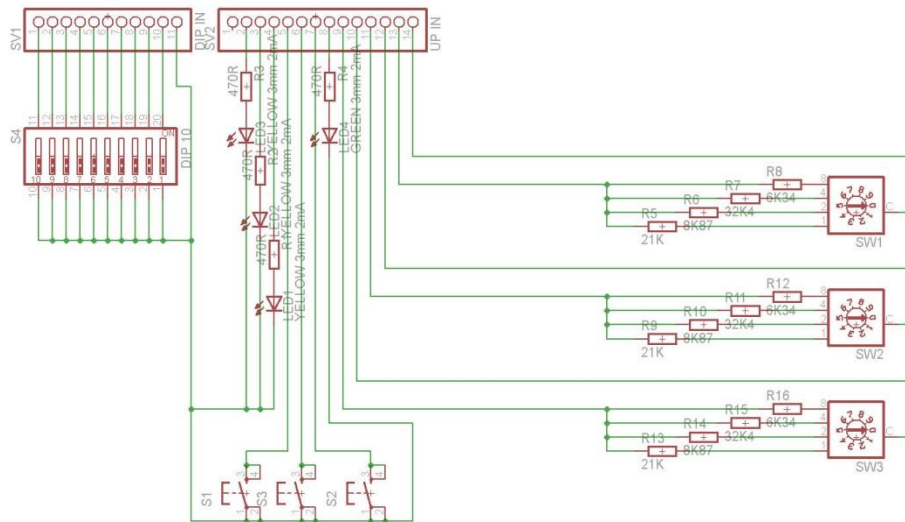
Obrázok D.1 Schéma zapojenia, spodný plošný spoj



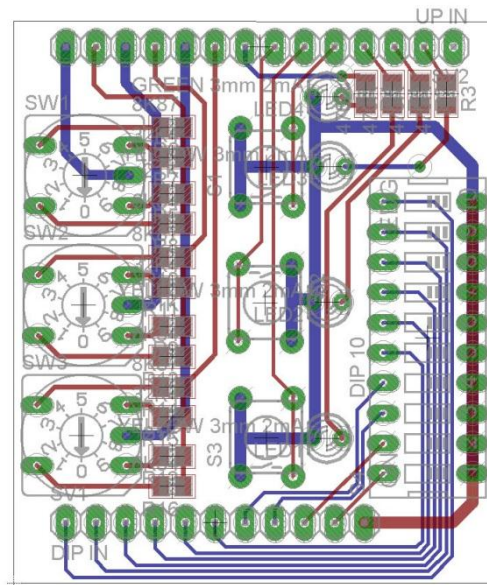
Obrázok D.2 Schéma spodného plošného spoja

| Number | Part              | Value       | Package     | Description             |
|--------|-------------------|-------------|-------------|-------------------------|
| 1      | B1                | 250mA       | TO-269AA    | Rectifier, Bridge       |
| 2      | C1,C2             | 18pF        | 0402        | Ceramic capacitor       |
| 3      | C3,C5,C7,C14      | 100nF       | 0402        | Ceramic capacitor       |
| 4      | C4,C6             | 10nF        | 0402        | Ceramic capacitor       |
| 5      | C8,C9,C10         | 1uF         | 0603        | Ceramic capacitor       |
| 6      | C11,C12,C13       | 2.2uF, 50V  | 1210        | Ceramic capacitor       |
| 7      | C15               | 470pF       | 0805        | Ceramic capacitor       |
| 8      | C16               | 100uF, 50V  | 3.5-8mm     | Electrolytic capacitor  |
| 9      | C17               | 100uF, 6,3V | 2,5-6mm     | Electrolytic capacitor  |
| 10     | D1                | 5.1V        | SOT-23      | Zenner-diode            |
| 11     | D2,D3,D4          | 2A, 100V    | SMB         | Diode                   |
| 12     | D5                | 5A, 50V     | SMC         | Diode                   |
| 13     | D6                |             | SOD-123     | Diode                   |
| 14     | IC1               | 1K, I2C     | SO-08       | EEPROM                  |
| 15     | L1,L2,L3          | 47uH, 1,4A  | 5x8,5mm     | Inductor radial         |
| 16     | L4                | 220uH       | 1812        | Inductor                |
| 17     | OK1,OK2           |             | MINI-FLAT-4 | Optocoupler             |
| 18     | Q1                | 12MHz       | SMD         | Crystal                 |
| 19     | R1,R2,R3          | 40K2        | 0402        | Resistor                |
| 20     | R4                | R33         | 0805        | Resistor                |
| 21     | R5                | 2K2         | 0603        | Resistor                |
| 22     | R6                | 3K6         | 0603        | Resistor                |
| 23     | R7,R8,R9          | 2K          | 0805        | Resistor                |
| 24     | R10               | 470R        | 0805        | Resistor                |
| 25     | R11               | 4,7K        | 0805        | Resistor                |
| 26     | R12               | 820R        | 0805        | Resistor                |
| 27     | R13               | 120R        | 0805        | Resistor                |
| 28     | R14               | 12K         | 0805        | Resistor                |
| 29     | R15,R16,R17       | 0R          | 0805        | Resistor                |
| 30     | R18,R19,R20       | 8K87        | 0805        | Resistor                |
| 31     | SV1,SV2,SV3       | 1 row       | 2,54mm      | Receptacle              |
| 32     | T1                | 0,5A, 45V   | SOT-23      | Transistor NPN          |
| 33     | TRANSRECIEVER     | 3,3V        | SO-08       | Transceiver RS-485      |
| 34     | U\$1              | LPC1113/14  | LQFP48      | MCU                     |
| 35     | U\$2,U\$3,U\$4    | 1A, 42V     | 8LLP        | Led Driver LM3414       |
| 36     | U\$5              | 1.5A, 40V   | SOIC8       | DC/DC Converter MC33063 |
| 37     | X1,X2,X3,X4,X5,X6 | 3 way       | 5.08mm      | PCB Terminal block      |

**Tabuľka D.1 Zoznam súčiastok spodného plošného spoja**



Obrázok D.3 Schéma zapojenia, vrchný plošný spoj



Obrázok D.4 Schéma vrchného plošného spoja

| Number | Part             | Value  | Package | Description       |
|--------|------------------|--------|---------|-------------------|
| 1      | LED1, LED2, LED3 | 2mA    | 3mm     | Yellow led        |
| 2      | LED4             | 2mA    | 3mm     | Green led         |
| 3      | R1,R2,R3,R4      | 470R   | 0805    | Resistor          |
| 4      | R5,R9,R13        | 21K    | 0805    | Resistor          |
| 5      | R6,R10,R14       | 8K87   | 0805    | Resistor          |
| 6      | R7,R11,R15       | 32K4   | 0805    | Resistor          |
| 7      | R8,R12,R16       | 6K34   | 0805    | Resistor          |
| 8      | S1,S2,S3         |        |         | Tactile switch    |
| 9      | S4               | 10 way | SPST-CO | Dip switch        |
| 10     | SW1              | BCD    | 3x2     | Rotary dip switch |
| 11     | SV1,SV2          |        | 1 row   | Receptacle        |

## Príloha E

# CD s firmwarom, schémami zapojenia a nákresmi plošných spojov

### Zoznam súborov:

|                          |   |
|--------------------------|---|
| /zapojenie/down.sch      | - schéma zapojenia spodného plošného spoja                              |
| /zapojenie/down.brd      | - schéma spodného plošného spoja  |
| /zapojenie/up.sch        | - schéma zapojenia vrchného plošného spoja                              |
| /zapojenie/up.brd        | - schéma vrchného plošného spoja  |
| /firmware/blink.c        | - ovládač signalizačnej LED   |
| /firmware/blink.h        | - hlavičkový súbor k blink.c  |
| /firmware/buttons.c      | - ovládač tlačidiel a prepínačov  |
| /firmware/buttons.h      | - hlavičkový súbor k buttons.c  |
| /firmware/dali_bls.c     | - ovládanie výstupného výkonu u protokolu DALI                          |
| /firmware/dali_bls.h     | - hlavičkový súbor k dali_bls.c   |
| /firmware/dali_command.c | - spracovanie DALI paketov  |
| /firmware/dali_command.h | - hlavičkový súbor k dali_command.c                                     |
| /firmware/dali.c         | - ovládač k protokolu DALI  |
| /firmware/dali.h         | - hlavičkový súbor k dali.c   |
| /firmware/dmx.c          | - ovládač k protokolu DMX   |
| /firmware/dmx.h          | - hlavičkový súbor k dmx.c  |
| /firmware/eeprom.c       | - práca s pamäťou EEPROM  |
| /firmware/eeprom.h       | - hlavičkový súbor k EEPROM.c   |
| /firmware/global.h       | - globálny hlavičkový súbor   |
| /firmware/i2c.c          | - ovládač ku zbernici i2c od NXP(prevzaté)                              |
| /firmware/i2c.h          | - hlavičkový súbor k i2c.c  |
| /firmware/main.c         | - hlavný program  |
| /firmware/pwm.c          | - ovládač ku generovaniu PWM  |
| /firmware/pwm.h          | - hlavičkový súbor k pwm.c  |
| /projekt/                | - zložka obsahujúca celý projekt, firmware, CMSIS a konfiguračné súbory |