

**KATEDRA
ELEKTROENERGETIKY**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE**



**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ANALÝZA A VÝVOJ
OVLÁDACÍHO PRVKU NA
STANDARDU DALI**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

KVĚTEN 2022

Bc. TOMÁŠ MAJZNER

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Majzner** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **474760**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza a vývoj ovládacího prvku na standardu DALI

Název diplomové práce anglicky:

Analysis and development of a control device for the DALI standard

Pokyny pro vypracování:

Proveďte rešerši konvenčních způsobů řízení osvětlovacích soustav. Pro standard DALI popište způsob funkce včetně technického řešení, použitých topologií a prvků používaných na sběrnici. Na základě rešerše datové komunikace na standardu DALI proveďte návrh ovládacího prvku pomocí prototypovací platformy vč. jeho firmware a ověřte jeho funkčnost.

Seznam doporučené literatury:

IEC 62386 - Digital addressable lighting interface
J. Habel a kol., Světlo a osvětlování, Praha: FCC Public, 2013.
DILAURA L. DAVID, Kevin W. HOUSER, Richard G. MISTRICK a Gary R. STEFFY. The Lighting Handbook: Reference and Application. 10th edition. New York: Illuminating Engineering Society of North America, c 2011. ISBN 978-0-87995-241-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Michal Kozlok katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **20.05.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2023**

Ing. Michal Kozlok
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kozlokovi za cenné rady, pomoc při zpracování a motivaci během zpracování. Dále chci poděkovat mé rodině, která mě podporovala nejen při psaní samotné práce, ale během celého vysokoškolského studia.

PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne

.....

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá řešením konvenčních způsobů řízení osvětlení se zaměřením na nejpoužívanější digitální způsob řízení DALI. Součástí práce je praktická implementace tohoto způsobu řízení na zařízeních již podporujících tento standard a na vývojové desce vytvořené na katedře elektroenergetiky. Součástí implementace je i vytvořený demonstrační program, pomocí kterého jsou jednotlivá zařízení ovládána. Program byl vytvořen za pomoci vývojového prostředí Arduino IDE v programovacím jazyce C++.

Klíčová slova: digitální řízení, DALI, Digital Addressable Lighting Interface, DiiA, rp2040, demonstrační program

ABSTRACT

This thesis deals with research of conventional lighting methods focusing on the most used digital method of light control, DALI. Part of thesis is the practical implementation of this method on devices already supporting this standard and on the development board created by the department of electrical power engineering. Part of implementation includes creating a demonstration program by which it is possible to control connected devices. The program was created in development environment Arduino IDE using programming language C++.

Keywords: digital control, DALI, Digital Addressable Lighting Interface, DiiA, rp2040, demonstration program

ÚVOD	1
KAPITOLA 1: ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ	2
KAPITOLA 2: ZPŮSOBY ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ	3
2.1 ANALOGOVÉ STMÍVÁNÍ	3
2.2 DSI	4
2.3 DMX	5
2.4 RDM	7
2.5 ACN	7
2.6 KNX	8
2.7 DALI	9
KAPITOLA 3: DALI	10
3.1 VÝVOJ	10
3.2 TERMINOLOGIE	11
3.3 ZPŮSOB KOMUNIKACE	12
3.4 TOPOLOGIE	14
3.5 PŘÍKAZY	15
3.5.1 Příkazy přímo ovlivňující úroveň osvětlení	15
3.5.2 Příkazy nepřímo ovlivňující úroveň osvětlení	16
3.5.3 Konfigurační příkazy	16
3.5.4 Dotazové příkazy	16
3.5.5 Speciální příkazy	17
3.6 CERTIFIKACE ZAŘÍZENÍ	17
3.6.1 Registrace zařízení DALI verze 1	17
3.6.2 Certifikace zařízení DALI 2	17
3.6.3 Certifikace D4i	18
3.6.4 DALI+	18
3.7 POUŽITÍ	19
3.7.1 Inicializace sběrnice	20
3.7.2 Přiřazení adresy	20
KAPITOLA 4: HARDWAROVÉ VYBAVENÍ DESKY	23
4.1 RP2040	23
4.2 ROTAČNÍ ENKODÉR	24
4.3 SENZOR OSVĚTLENOSTI	25
4.4 SENZOR TEPLoty	26
4.5 TLAČÍTKA	26
4.6 FYZICKÁ VRSTVA DALI	26
KAPITOLA 5: SOFTWARE	29
5.1 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ	29
5.2 POUŽITÉ KNIHOVNY	29
5.2.1 DALI Lighting Interface	29
5.2.2 Wire	30
5.2.3 BH1750	30

5.3	UVEDENÍ SBĚRNICE DO PROVOZU	30
5.3.1	Nastavení časovačů.....	30
5.4	DEMONSTRAČNÍ PROGRAM.....	31
	KAPITOLA 6: OVLÁDÁNÍ OSVĚTLENÍ.....	33
6.1	PŘEDŘADNÍK	33
6.2	POUŽITÁ SVĚTLA.....	33
6.3	NAPÁJECÍ ZDROJ	33
6.4	TESTOVÁNÍ	34
	ZÁVĚR	36
	LITERATURA	38
	PŘÍLOHA A	40

SEZNAM ZKRATEK

AC	Střídavý proud
ACN	Sbírka síťových protokolů pro ovládání zařízení zábavní techniky
ANSI	Americká standardizační organizace
DALI	Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení
DC	Stejnoseměrný proud
DDL	Jazyk pro popis zařízení
DiiA	DALI Aliance
DMP	Protokol pro řízení zařízení
DMX512	Digitální multiplex
DSI	Digitální sériové rozhraní
DTR	Registr pro přenos dat
HVAC	Topení, větrání a klimatizace
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
IEEE	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IoT	Internet věcí
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
PLC	Komunikace po výkonových vodičích
PWM	Pulzně šířková modulace
RDM	Vylepšení pro protokol DMX512
SDT	Protokol na odesílání zpráv DMP

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Schéma zapojení jednoduchého analogového stmívače [2].....	4
Obr. 2-2 Diagram pinů XLR-5, vlevo samice vpravo samec [7].....	6
Obr. 3-1 Logické stavy na sběrnici [20].....	12
Obr. 3-2 Formát paketů	13
Obr. 3-3 Volné zapojení ke sběrnici	14
Obr. 3-4 Graf převodu digitální hodnoty na úroveň osvětlení	16
Obr. 3-5 Logo DALI verze 1 [24]	17
Obr. 3-6 Logo DALI 2 [26].....	18
Obr. 3-7 Logo D4i [28].....	18
Obr. 3-8 Logo DALI+.....	19
Obr. 4-1 Vývojová deska DALI Control Interface	23
Obr. 4-2 Rozvržení pinů RP2040 [33].....	24
Obr. 4-3 Detekce směru otáčení.....	25
Obr. 4-4 Čidlo okolního osvětlení.....	25
Obr. 4-6 Univerzální ovladač DALI4sw	26
Obr. 4-7 Diodový můstek	26
Obr. 4-8 Schéma – Zkratování sběrnice DALI.....	27
Obr. 4-9 Schéma – Čtení dat na sběrnici	28
Obr. 6-2 Vývojový diagram demonstračního programu	31
Obr. 6-1 Napájecí zdroj DALI sběrnice.....	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1. Zapojení kabelu ke konektoru XLR [4]....	6
Tab. 3-1 Části normy ČSN 62386	10
Tab. 3-2 Seznam DALI termínů.....	11

ÚVOD

Denní světlo je součástí života každého člověka a je velmi důležitým faktorem působícím na lidský organismus. Již z daleké historie je známo, že světlo je hlavním faktorem ovlivňujícím pohodu a bdělost člověka při správném osvětlení. Dnes je nám tento jev znám jako biologický rytmus známý též pod pojmem cirkadiánní a jsou již přesněji popsány jednotlivé fáze tohoto denního biorytmu.

Stejně jako denní světlo je v dnešní době nedílnou součástí každého člověka i světlo umělé. Dynamiku denního světla je možné do značné míry napodobit správnou regulací umělého osvětlení a dosáhnout tak žádaných účinků světla i v místech bez přístupu denního světla. Správná regulace barvy světla umožňuje vyšší bdělost při práci nebo naopak teplejší světlo navozuje atmosféru klidu a pohody. Velmi důležitou hnací silou pro rozvoj automatického řízení osvětlení jsou firmy vlastníci velké kancelářské a halové komplexy, které chtějí s pomocí řízení osvětlení dojít k úsporám elektrické energie. Množství spotřebované energie v takových komplexech již není zanedbatelné, a kromě úspory nákladů za elektrickou energii dochází i k šetření životního prostředí.

Tato práce se zabývá právě regulací umělého osvětlení s důrazem na dnes již nejpoužívanější digitální způsob řízení osvětlení DALI. Cílem této práce je provést rešerši konvenčních způsobů řízení osvětlení s hlubším prozkoumáním řízení pomocí DALI a na základě této rešerše vytvořit na vývojovém kitu ovládací prvek, pomocí kterého bude možné ovládat zařízení na DALI sběrnici jako například LED předřadník.

Práce je členěna do šesti kapitol. První kapitola se zabývá širším popisem požadavku na řízení osvětlení. Druhá kapitola se zabývá popisem konvenčních způsobů řízení s důrazem na digitální řízení osvětlení DALI ve třetí kapitole. Čtvrtou kapitolu tvoří popis vývojové desky, na které je realizována komunikace na DALI sběrnici včetně ovládacích zařízení. Pátá kapitola obsahuje popis softwarového prostředí, které bylo použito pro programování demonstračního programu a funkce samotného programu. V poslední šesté kapitole je popsáno samotné zapojení demonstrace osvětlení s popisem jednotlivých komponent na sběrnici a testováním funkčnosti připraveného demonstračního programu.

KAPITOLA 1: ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ

Různé úrovně osvětlení dokážou působit na lidské tělo různými způsoby. To vedlo k požadavku při návrhu a realizaci umělého osvětlení na jeho jemnější řízení, které by umožňovalo regulovat svítidla i jinak, než pouze binárně zapnout a vypnout. Odpovědí na tento požadavek byly první způsoby analogového řízení, které jen potvrdily potřebu svítidla regulovat. Analogová regulace umělého osvětlení byla nepraktická a nákladná pro širší využití. Technickým vývojem docházelo k rozšíření sběrníkových digitálních systémů řízení osvětlení, jejichž chování může být předem naprogramováno a mohou být za chodu ovládány z počítače. Digitální systém osvětlení je chytrá síť, která na určitém komunikačním protokolu spojuje vstupní a výstupní zařízení ovládající svítidla za pomoci jednoho nebo více výpočetních zařízení po datové sběrnici.

Prvními uživateli systémů řízení osvětlení byla divadla, výstavy umění a restaurace, která využívala stmívání světel pro navození správné atmosféry a vtáhnutí člověka do děje. S prvními digitálními způsoby řízení osvětlení, a hlavně možností měnit barvy bylo řízení osvětlení adoptováno i dalšími odvětvími jako například koncertními halami nebo gastronomickými provozy, které využívaly řízení osvětlení k povzbuzení člověka za pomoci barevných blikajících světel a jejich pohybem po scéně nebo naopak navozením klidné atmosféry pomocí ztlumení světel.

V dnešní době se řízení osvětlení používá hlavně pro regulaci venkovního osvětlení v závislosti na denním osvětlení a v kancelářských komplexech pro hromadné vypínání a zapínání svítidel v závislosti na čase. Hromadnou automatizací dochází k úspoře elektrické energie a jejich nákladů. Toto řízení bylo postupně vylepšeno o senzory a čidla, která mohou sledovat například pohyb lidí nebo již zmíněnou změnu úrovně okolní osvětlenosti a podle toho světla regulovat.

V současnosti se řízení osvětlení stává součástí domácností. V případě analogového řízení se jednalo pouze o řízení jednotlivých svítidel, které umožnilo např. ztlumení světla ve večerních hodinách. Až s rozvojem digitální techniky a v posledních letech rozvojem chytrých domácností došlo k většímu zájmu o řízení osvětlení. Řízení osvětlení v domácnosti nemusí být motivováno pouze úsporou energie, ale i vytvořením atmosféry v jednotlivých místnostech podobným způsobem jako to dělají divadla nebo výstavy umění. V případě chytrých domácností je pak nejčastěji řízení osvětlení kombinováno i s celkovým řízením chytré domácnosti. Takovým způsobem lze pak řídit topení, klimatizaci nebo dokonce i stínící techniku.

KAPITOLA 2: ZPŮSOBY ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ

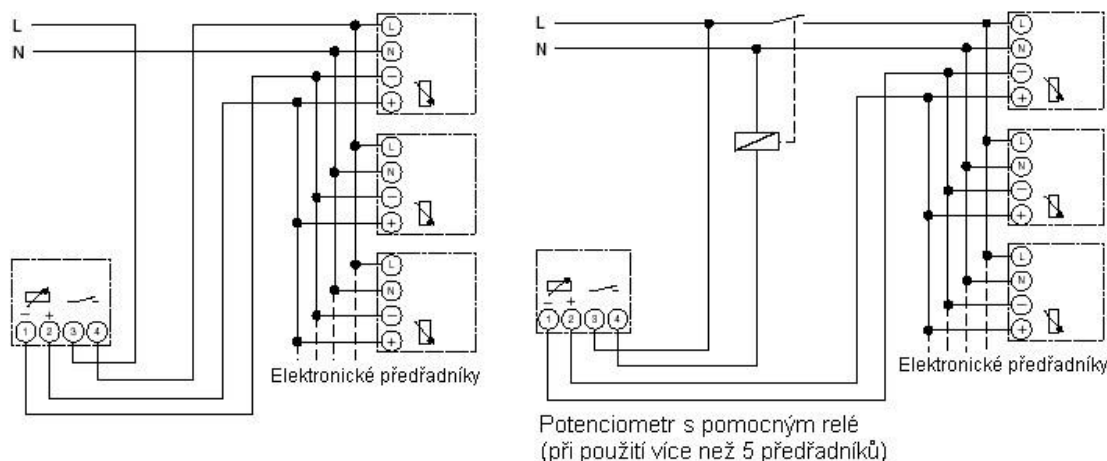
V průběhu let a s postupným vývojem řídicí techniky vzniklo mnoho způsobů, jak řídit osvětlovací soustavy. První řízení bylo realizováno především analogovým řízením napětí, a i když má tento způsob řízení mnoho výhod, tak s postupným rozvojem digitální řídicí techniky se přechází na výlučně digitální řízení, které poskytuje více funkcí a nabízí širší možnosti automatizace.

Jednotlivé otevřené standardy řízení jsou typicky vyvíjeny profesionály z oboru otevřeným procesem, který musí být odsouhlasen skupinou odborníků. Každá změna, v již zavedeném standardu, je nejčastěji aktualizací nalezených chyb či vylepšením daného standardu na základě zpětné vazby od jeho uživatelů. Všechny tyto změny musí ale stále být odsouhlaseny danou organizací. Nejčastěji jsou publikovány a udržovány známými organizacemi jako je ISO, IEC, IEEE, ANSI atd.

V následujících kapitolách je popis jak analogového způsobů řízení, tak i vybraných digitálních protokolů pro řízení osvětlovacích soustav. Z důvodu velkého množství proprietárních protokolů jsou uvedeny pouze ty nejčastěji používané.

2.1 Analogové stmívání

Analogové stmívání je nejstarší a nejjednodušší způsob regulace osvětlení. Nejčastěji je realizováno pomocí jednoduché regulace napětí 0-10 V DC, kde 0 V znamená vypnuto a 10 V zapnuto na maximální intenzitu osvětlení. V případě stmívání většiny zářivek je nutné použít pro vypnutí přídatný vypínač nebo relé, neboť je nelze stmívat pod 10% intenzity. Jednotlivé osvětlovací soustavy jsou připojeny pomocí oddělených kabelů bez společné sběrnice. Oproti digitálnímu řízení nelze jednotlivá svítidla v soustavě adresovat a lze je tedy ovládat pouze společně. Řízení napětí může být realizováno manuálně pomocí jednoduchého potenciometru nebo pomocí senzoru denního světla. Schéma zapojení jednoduchého stmívače je vidět na Obr. 2-1 [1].



Obr. 2-1 Schéma zapojení jednoduchého analogového stmívače [2]

Tento způsob řízení je velmi jednoduchý na instalaci a údržbu při použití menšího množství svítidel. Nevýhodou tohoto řešení je velká pořizovací cena v případě větších soustav, protože každé zařízení potřebuje vlastní ovládací kabel a připojení ke společné zemi. V případě dlouhých kabelů je pak nutné kalibrovat zařízení na pokles napětí daný odporem kabelu. Další nevýhodou je pak náchylnost analogového řízení na rušení od přilehlých AC kabelů. Tento problém se ale dá vyřešit použitím regulace pomocí pulzně šířkové modulace (PWM), která reguluje napětí pomocí rychlého spínání tranzistorů s měnící se délkou stavu zapnutí a vypnutí tranzistoru [1].

2.2 DSI

DSI (Digital Serial Interface) je jedním z prvních digitálních protokolů vytvořených pro řízení osvětlení. Protokol byl vyvinut firmou Tridonic a stal se základním kamenem dnes již velmi známého otevřeného protokolu DALI. Částečně se tento protokol objevuje i v protokolu DMX, který je používán pro řízení profesionálního osvětlení na jevištích a v koncertních halách.

Protokol DSI je založen na jednoduché datové komunikaci skládající se z 1 start bitu, 8 datových bitů, které udávají úroveň intenzity osvětlení a 4 stop bity, dokáže tedy pouze řízení intenzity světla [3]. V případě tohoto protokolu není možná individuální adresace svítidel na sběrnici a vyslaný povel je zpracován všemi zařízeními připojenými na sběrnici, díky této vlastnosti je možné připojit teoreticky neomezený počet předřadníků na jednu sběrnici. Hlavní výhodou tohoto protokolu oproti analogovému řízení byla především jednoduchost potřebné kabeláže. Převodníky pro řízení samotného osvětlení potřebují pouze dva vodiče v sériovém zapojení, u kterých nezáleží na polaritě zapojení. Další výhodou oproti analogovému řízení je možnost použití různých typů senzorů pro řízení osvětlení, kde kromě senzoru denního světla je možné použít i senzory přítomnosti osob.

Nevýhodou tohoto protokolu z technického hlediska je jeho jednoduchost, která neumožňuje komplexnější ovládání, jako je řízení teploty chromatičnosti či změny barvy moderních svítidel. Dále pak nemožnost ovládání jednotlivých svítidel, nebo skupiny svítidel, z důvodu jejich adresace.

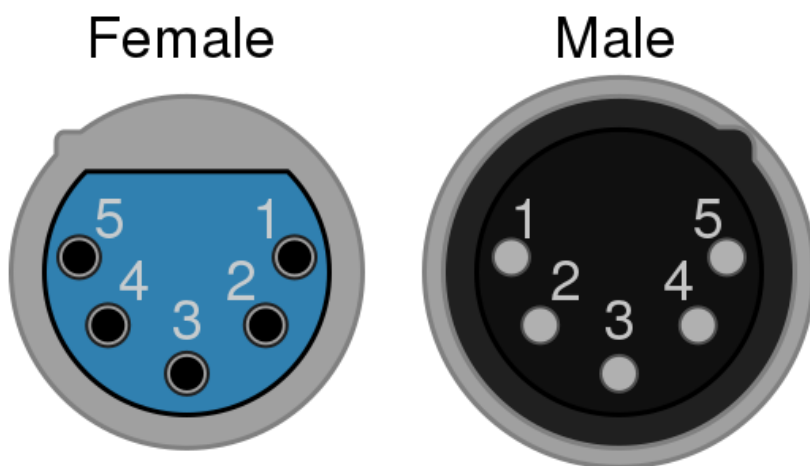
Tento protokol se příliš v praxi neuchytil, protože jeho patent byl vlastněn firmou Tridonic, což způsobilo, že se ostatní firmy nechtěly podílet na jeho rozvoji a výrobě dalších kompatibilních zařízení. V dnešní době je protokol DSI stále částečně používán firmou Tridonic [3].

2.3 DMX

DMX512 je dalším z prvních digitálních způsobů řízení osvětlení. Tento ovládací protokol vznikl v 90. letech převážně pro ovládání profesionální světelné techniky na jevištích a v koncertních halách, ale je možné jej použít i pro nesvětelná zařízení jako jsou výrobníky mlhy. Celý tento protokol je definován v rámci standardu ANSI E1.11 [4]. Jedná se o asynchronní simplexní komunikaci, umožňující pouze přenos informací v jednom směru, od ovladače k zařízení bez možnosti zjištění stavu svítidel.

Jeden ovládací prvek DMX dokáže řídit až 512 adres, kde každá adresa může obsahovat více svítidel, která budou řízena stejným povelům. Na každé adrese je pak možné měnit hodnotu v rozsahu 0-255, kde 0 typicky znamená 0% intenzity a 255 100% intenzity. Je důležité zmínit, že v případě použití svítidel, která vyžadují více řídicích signálů jako je například RGB osvětlení, je nutné připojit každý řídicí signál na vlastní adresu. Pro RGB osvětlení jsou tedy potřeba 3 adresy, pro každou barvu zvlášť. V praxi je využíváno protokolu DMX kromě stmívání i pro automatizaci svítidel, kde hodnoty na jednotlivých adresách mohou měnit například náklon svítidla, úroveň smíšení barev nebo výběr specifického gobu. Goba jsou speciální projekční šablony z teplovzdorného skla nebo plechu, která se umísťují do světla a mají za úkol vytvořit projekci obrazce či textu [5] [6].

Jednotlivá zařízení v síti DMX jsou zapojena v sérii s jednou řídicí stanicí (master) a více řízenými zařízeními (slave). Sběrnice je elektricky zapojena shodně s rozhraním RS-485. Typické zapojení jednotlivých zařízení je realizováno dvou vodičovým vedením s konektory XLR-5 se zapojením pinů dle následujícího obrázku a tabulky.



Obr. 2-2 Diagram pinů XLR-5, vlevo samice vpravo samec [7]

Tab. 2-1. Zapojení kabelu ke konektoru XLR [4]

Pin	Vodič	Signál
1	Stínění	Zem 0 V
2	1 pár	Data1-
3	1 pár	Data1+
4	2 páry	Data2-
5	2 páry	Data2+

Některá zařízení mohou používat konektor XLR-3, ale není to doporučováno, neboť konektor XLR-3 je používán i pro analogový přenos audio signálu a při záměně při zapojení by mohlo dojít k poškození připojených zařízení. Jelikož se běžně používá pouze jeden výstup kabelu je běžné, že v zásuvce XLR-5 jsou zapojeny pouze piny 1-3 [8].

Při tvorbě komplexnějšího osvětlovacího systému je běžné, že 512 adres je příliš málo a dochází k použití více ovládacích prvků DMX. Je běžné, že složitější systémy mohou mít 30 a více ovládacích DMX prvků. Jelikož není možné ovládat tak velké množství kanálů na jedné konzoli muselo dojít k adopci systému na distribuované zpracování signálů. Jednotlivé ovládací prvky, které mohou zpracovávat tato data, tak mohou být spojeny dohromady. Pro spojování více ovládacích prvků DMX by nebylo vhodné používat kabely XLR-5, a tak je běžné, že se pro komplexnější systémy používá různých síťových protokolů, které fungují přes Ethernet kabel [6].

2.4 RDM

RDM není samostatně fungujícím protokolem. Jedná se o rozšíření k protokolu DMX, které umožňuje obousměrnou (half-duplex) komunikaci se zařízeními. Na rozdíl od DMX tedy dokáže zpracovávat informace o stavu a poruše připojených zařízení. Protokol byl navržen pro postupnou náhradu starších zařízení fungujících na protokolu DMX a je tedy možné používat nová zařízení RDM v součinnosti se starými zařízeními DMX na jednom datovém kabelu bez kolize. Zároveň pak RDM ovladače dokážou ovládat zařízení DMX. Celý protokol je definován v rámci standardu ANSI E1.20 [9].

Half-duplex komunikace umožňuje komunikaci v obou směrech, avšak pouze v jednom směru zároveň. Aby nedocházelo k vzájemnému rušení signálů v případě odezvy zařízení a nového povelu od ovladače, je komunikace vždy zahájena ovladačem. Pokud je tedy třeba zjistit stav zařízení je nutné, aby ovladač poslal dotaz na stav.

Komunikace dvou protokolů na jednom datovém kabelu je možná kvůli různým zahajovacím bitům v povelích jednotlivých protokolů. Zatímco povel protokolu DMX musí začínat bitem 0x00, RDM povel začíná start bitem 0xCC. Starší zařízení, která nefungují na protokolu RDM se tak ani nesnaží číst povely pro zařízení RDM.

Díky RDM protokolu je možné tvořit nové konfigurace svítidel a jednoduchá modifikace jejich chování v rámci soustavy. Podobně jako u protokolu DMX je nevýhodou nespolehlivý přenos povelů. Pokud dojde ke ztrátě informací v povelu, nebo špatné přečtení povelu na straně zařízení, nedochází k dalšímu pokusu o odeslání, ale pouze k ukončení činnosti [10].

2.5 ACN

ACN je sbírka síťových protokolů pro jednoduché ovládání svítidel a jejich synchronizaci se zvukem, videem nebo pyrotechnikou primárně pro použití k divadelnímu osvětlení. Hlavními protokoly v této sbírce jsou DDL, DMP a SDT. Jedná se o ANSI standard ANSI E1.17-2010 [11].

DDL neboli jazyk pro popis zařízení je popis každého ACN zařízení, který dokáže ovládací konzoli říct, jak dané zařízení ovládat a sledovat. Při zapojení zařízení do sítě je tento protokol použit k nalezení a určení funkčnosti daného zařízení. DDL popis obsahuje veškeré funkce zařízení a proměnné, které jsou používány pro jeho ovládání. Nejedná se tak pouze o stmívání nebo mixování barev, ale u automatických svítidel i jejich pohyb ve všech směrech. Uvedené proměnné mají v popisu jak jejich maximální a minimální hodnoty, tak i jejich charakter. V případě parametru sklonu svítidla uvádí daná proměnná úhel náklonu nebo počet kroků krokového motoru.

Po objevení zařízení na síti je spuštěn protokol pro řízení zařízení DMP. Tento protokol obstarává konfiguraci, sledování a řízení připojeného zařízení. DMP definuje způsoby, jak ze

zařízení dostat a nastavit jeho proměnné pro řízení a sledování. Nejzajímavějšími dotazy jsou pak `Get_property`, `Set_property`, `Subscribe`, `Unsubscribe` a `Event`. `Get_property` a `Set_property` jsou používány pro získání a nastavení vlastnosti zařízení, `Subscribe` a `Unsubscribe` jsou používány pro sledování změn v zařízení. Při změně vlastnosti zařízení je vygenerována zpráva `Event`, která oznamuje danou změnu ovládacím konzolám, které sledují dané zařízení.

SDT je protokol, který obstarává posílání zpráv DMP ke správnému zařízení. Součástí tohoto protokolu je i zabalení více zpráv do jednoho paketu, aby docházelo k efektivnějšímu využití šířky pásma sítě [12] [13].

Architektura ACN není založena na specifické fyzické vrstvě. Jedná se spíše o řešení, které je možné zapojit a řídit pomocí levných a jednoduchých zařízení na bázi Ethernet či Wi-Fi, což je jednou z hlavních výhod tohoto řešení. Další výhodou oproti starším protokolům jako DMX512 nebo RDM je časová přesnost, která umožňuje přesnou synchronizaci například s hudbou, videem nebo dokonce i s pyrotechnikou.

2.6 KNX

KNX je otevřeným standardem, který byl vyvinut pro automatizaci a sledování parametrů prostředí jak v komerčních prostorech, tak v domácnostech. Protokol KNX nebyl vytvořen pro výhradní použití pro řízení a automatizaci osvětlení a je nejčastěji používán pro automatizaci více komponent v daném prostoru, jako jsou například bezpečnostní systémy, HVAC, stínící technika nebo dokonce i chytré lednice. Dále pak pro měření spotřeby energie nebo udržování vnitřní teploty v závislosti na venkovní teplotě. Příslušný standard je označován jako ČSN EN 50090 [14] či ISO/IEC 14543.

Zapojení jednotlivých zařízení KNX je velmi flexibilní a je možné ho použít několika způsoby. Kromě klasické datové kroucené dvojlinky, je možné použít komunikaci po elektrické síti PLC, rádiové řízení, nebo komunikaci po internetovém protokolu. V praxi se však nejčastěji používá datová kroucená dvojlinka, která se pokládá paralelně s vedením síťových rozvodů 230 V AC. Síť KNX nebyla navržena pro specifická zařízení a je jí tak možné ovládat pomocí jednoduchých osmibitových mikropočítačů, kterých může být na jedné síti několik [15].

Typická síť KNX je složena z hlavní kroucené dvojlinky, na kterou lze připojit až 10 000 zařízení, kde každé obdrží vlastní fyzickou adresu, pomocí které se dané zařízení ovládá a programuje. Spravovat sběrnici může více připojených zařízení, kde každé zařízení má stejná práva. Hlavní dvojlinka sběrnice neslouží pouze pro komunikaci s jednotlivými zařízeními, ale i k jejich požadovanému napájení 30 V DC [15].

KNX je v dnešní době velmi rozšířený protokol pro automatizaci velkých budov jako jsou nemocnice či obchodní centra. Jeho flexibilita a jednoduchost nám zajišťuje možnost připojení velkého množství různých senzorů, které dokážou pracovat společně na jedné síti. V případě

řízení osvětlení je možné KNX využívat pouze pro jeho jednoduché ovládání. Složitější ovládání osvětlení je nejčastěji řešeno pomocí protokolu DALI, který je možný připojit do sítě KNX pomocí připojovací brány KNX-DALI. Tento způsob je možné použít i v případě využití staršího již instalovaného řízení osvětlení například pomocí analogového stmívání nebo pomocí DSI protokolu [15].

2.7 DALI

Kapitolu 2 „Způsoby řízení osvětlení“ by nebylo možné zakončit bez uvedení jednoho z nejmodernějších a nejpoužívanějších protokolů pro digitální řízení osvětlení. Jelikož je protokol DALI hlavní součástí této práce je nutné ho popsat hlouběji, celá následující kapitola je tak věnována jeho hlubšímu popisu, historii, vývoji, komunikaci a funkcím, které se v praxi používají.

KAPITOLA 3: DALI

V této kapitole bude podrobněji popsán pro tuto práci nejdůležitější protokol pro řízení osvětlení DALI. DALI (Digital Addressable Lighting Interface) je komunikační protokol sloužící k jednoduché implementaci digitálního ovládání osvětlení v domácím i komerčním prostředí. Jeho jednoduchost, a hlavně jeho bezplatné použití jsou hlavními důvody proč je implementován do zařízení většiny firem v oblasti osvětlování a je tak nejpoužívanějším způsobem řízení osvětlení. [16]

Vznik a následný vývoj DALI standardu byl zapříčiněn požadavkem výrobců svítidel a příslušenství na jednotný standard, který by dokázal zajistit kompatibilitu zařízení od různých výrobců. Jediným řešením, které by vyhovělo tomuto požadavku tak, aby s ním výrobci souhlasili je vytvoření otevřeného standardu, který na rozdíl od proprietárních protokolů nebude obsahovat platbu za využití protokolu. Jedině tak se mohli výrobci dohodnout na vývoji jednotného standardu, který dokáže komunikovat mezi různými zařízeními a umožní tak jeho masové rozšíření.

3.1 Vývoj

Protokol pro sběrnici DALI byl vyvinut speciálně pro řízení a automatizaci osvětlení. Na rozdíl od víceúčelových protokolů, jako je například KNX, tak dokáže efektivně a jednoduše oboustranně komunikovat se světelnými předřadníky a senzory připojenými na jednu společnou sběrnici.

Vývoj DALI standardu začal na počátku 90. let 20. století, ale první komerčně dostupné zařízení pracující na tomto standardu bylo na trh uvedeno až v roce 1998. O vývoj tohoto standardu se stará DALI Aliance DiiA, která se skládá z uskupení předních výrobců svítidel a příslušenství jako je například Tridonic, Osram nebo Philips. Standard a požadavky na jeho zařízení je plně popsán ve specifikacích DiiA a dále je pak registrován pod mezinárodní elektrotechnickou komisí IEC s číslem normy 62386, která je rozdělena do následujících částí. Česká verze normy je označena ČSN 62386 [17].

Tab. 3-1 Části normy ČSN 62386

Část 101	Všeobecné požadavky – Systém
Část 102	Obecné požadavky – Ovládací zařízení
Část 103	Obecné požadavky – Řídicí zařízení
Část 104	Obecné požadavky – Bezdrátové a alternativní komponenty kabelového systému
Část 105	Zvláštní požadavky na ovládací zařízení – přenos pevně zabudovaného programu (firmware)
Část 2xx	Zvláštní požadavky na ovládací zařízení
Část 3xx	Zvláštní požadavky – Vstupní zařízení

První verze protokolu představená na konci 90. let s plným názvem DALI obsahovala pouze malé množství základních příkazů a několik kompatibilních předřadníků. Tato verze si postupně prošla mnoha revizemi, které opravovaly různé chyby a nekompatibility v protokolu [16].

V roce 2014 si prošel protokol DALI změnou a vyšla jeho nová oficiální verze DALI 2, která obsahovala mnoho vylepšení stávajícího protokolu. Vydáním nové verze zároveň došlo k přejmenování originálního DALI na DALI verze 1. Důležitou vlastností DALI 2 je vzájemná kompatibilita se staršími revizemi DALI verze 1. Nejdůležitějšími vylepšeními ve verzi 2 bylo přidání řídicích systémů, které tvořily centrum DALI 2 systému. Tato zařízení velmi zjednodušila použití DALI systému, protože odpadla nutnost programovat komunikaci mezi zařízeními na sběrnici. Stačí pouze nastavit řídicí systém a ten se o správnou komunikaci postará sám. Dalším ze zásadních vylepšení bylo umožnění komunikace se vstupními zařízeními (senzory). Dále pak oficiální certifikace napájecích zdrojů pro sběrnici. Popis registrace pro DALI verze 1 a proces certifikace pro DALI verze 2 bude podrobněji popsán v kapitole 3.6 Certifikace zařízení.

Kromě těchto hardwarových vylepšení bylo přidáno i mnoho softwarových povelů pro řízení těchto zařízení a opravy a vylepšení stávajících příkazů [16].

3.2 Terminologie

V rámci specifikace protokolu DALI jsou používány následující termíny. Pro správné pochopení a jednoduchou orientaci je zde vypsán jejich seznam a vysvětlení.

Tab. 3-2 Seznam DALI termínů

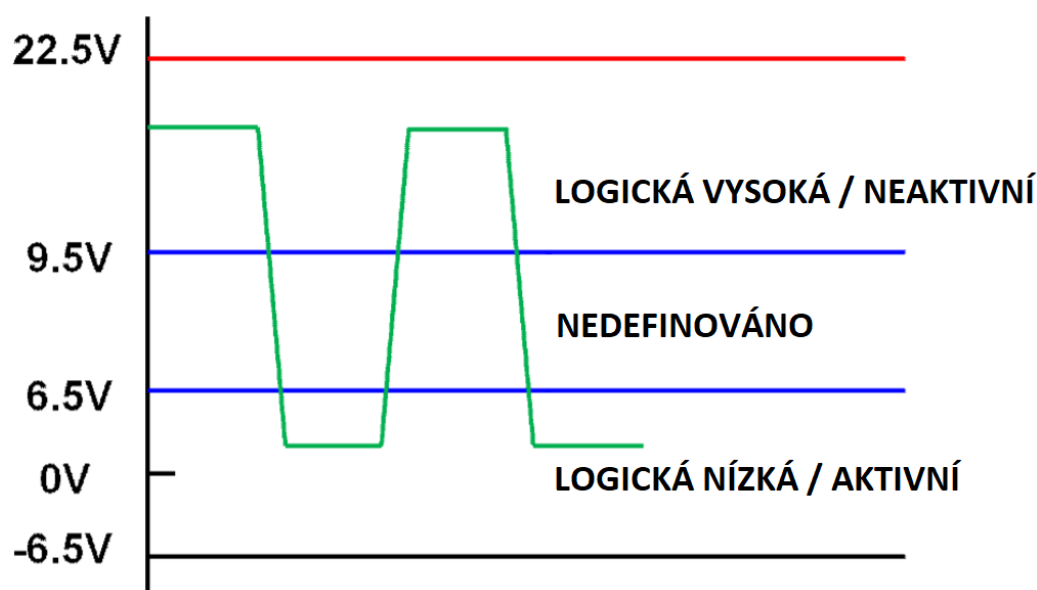
Řídicí zařízení	Zařízení, které přenáší příkazy k ostatním zařízením na stejné sběrnici. Může přijímat příkazy a zpětné pakety.
Ovládací zařízení	Zařízení, které přijímá příkazy k ovládní svého výstupu.
Předřadník	Elektronické zařízení, které reguluje proud nebo napětí svídel.
Datový rámeček	Paket s informacemi skládající se ze start bitu, adresového bytu, až dvou datových bytů a stop podmínkou.
Dopředný datový rámeček	Paket odeslaný ovládacím kontrolérem do ovládacího zařízení. Skládá se ze start bitu, adresového bytu, až dvou datových bytů a stop podmínkou.
Zpětný datový rámeček	Paket odeslaný ovládacím přístrojem do ovládacího zařízení. Skládá se ze start bitu, jednoho datového bytu a stop podmínkou.
Příkaz	Specifická instrukce ke způsobení reakce v přijímači.
Krátká adresa	Adresa jednotlivého ovládacího zařízení v systému.
Skupinová adresa	Adresa skupiny ovládacích zařízení v systému.

Broadcast	Adresa pro všechna ovládací zařízení v systému
Výkon spojení	Výkon dodávaný do světelného zdroje
Přímé řízení výkonu oblohou	Metoda k okamžitému nastavení specifického výkonu pro jednotlivé ovládací zařízení nebo skupinu. Vhodné při řízení výkonu výbojek.
Scéna	Konfigurovatelné přednastavené úrovně osvětlení
Systém řízení budovy	Počítačově ovládaný systém v budovách, který ovládá a monitoruje mechanické a elektrické zařízení instalované v budově

Tento seznam byl převzat z online dokumentace UART with DALI Protocol Technical Brief [18].

3.3 Způsob komunikace

Komunikace mezi jednotlivými zařízeními na DALI sběrnici probíhá po jednoduché dvojlince, která propojuje jednotlivá zařízení. Tato sběrnice neslouží k napájení připojených zařízení, ale slouží pouze k přenosu dat. Napájení sběrnice je realizováno pomocí externího zdroje 16 V DC s maximálním výstupním proudem 240 mA. Z tohoto napětí na sběrnici pak vychází rozdělení na fyzické stavy bitů. Logickým nízkým stavem neboli aktivním stavem pro DALI, je napětí menší než 6,5 V. Logickým vysokým stavem neboli neaktivním stavem pro DALI, je napětí větší než 9,5 V. Napětí 6,5 V až 9,5 V je přechodný nedefinovaný stav, na který sběrnice nereaguje. Délka jednotlivých propojovacích kabelů je omezena maximálním dovoleným úbytkem napětí 2 V. Napájení sběrnice je možné realizovat i více zdroji, ale je nutné hlídat podmínku maximálního proudu na sběrnici [19].

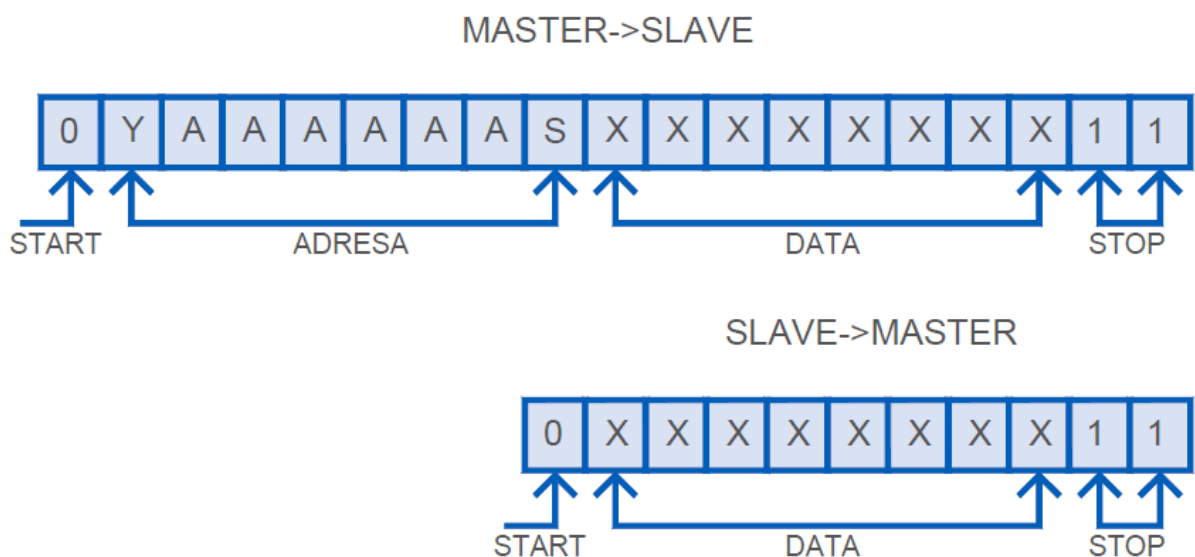


Obr. 3-1 Logické stavy na sběrnici [20]

Na DALI sběrnici probíhá obousměrná half-duplex asynchronní komunikace mezi jednotlivými zařízeními rychlostí 1200 baudů. Zařízení na sběrnici fungují na modelu master/slave.

Pakety ve směru master -> slave se skládají ze čtyř částí. První částí je jeden startovací bit, který je v našem případě logickým nízkým stavem, který upozorňuje zařízení na začátek přenosu informací. Pokud by vyslaný příkaz neměl startovací bit, nebyl by slave zařízeními rozpoznán. Druhá a třetí část je tvořena dvěma byty, kde první byte obsahuje adresu zařízení, kterému je zpráva určena. Adresa zařízení může adresovat jednotlivé zařízení, skupinu zařízení nebo všechna zařízení na sběrnici. Druhý byte obsahuje samotnou instrukci, kterou adresovaná zařízení splní. Poslední částí zprávy jsou stop bity, které jsou sérií logických nul signalizující konec přenosu zprávy [20].

Paket ve směru slave -> master je jednodušší. Jedná se pouze o odpověď nadřazenému zařízení a není tedy nutné, aby zpráva obsahovala adresu zařízení. Zařízení slave pouze odpovídá na dotaz od master zařízení. Stejně jako v případě komunikace master -> slave zpráva obsahuje na začátku jeden start bit a na konci sérii stop bitů. Za start bitem se pak vyskytuje pouze informace, kterou zařízení posílá, adresa je známá [20].



Obr. 3-2 Formát paketů

Jeden DALI kontrolér dokáže adresovat a jednotlivě komunikovat s až 64 slave zařízeními (předřadníky). Každý předřadník pak napájí dle specifikací a zapojení libovolný počet svítidel. Každé z jednotlivě adresovatelných svítidel je také možné přiřadit až k 16 skupinám, které se ovládají pomocí vlastní skupinové adresy. Tato funkce se hodí například pro ovládání všech svítidel v místnosti nebo několika místností v budově. Posledním způsobem adresace svítidel je pomocí broadcast příkazu, který vyšle instrukci všem zařízením na sběrnici. Tento příkaz je vhodný na centrální vypínání/zapínání všech svítidel. Dle specifikace DALI je také možné

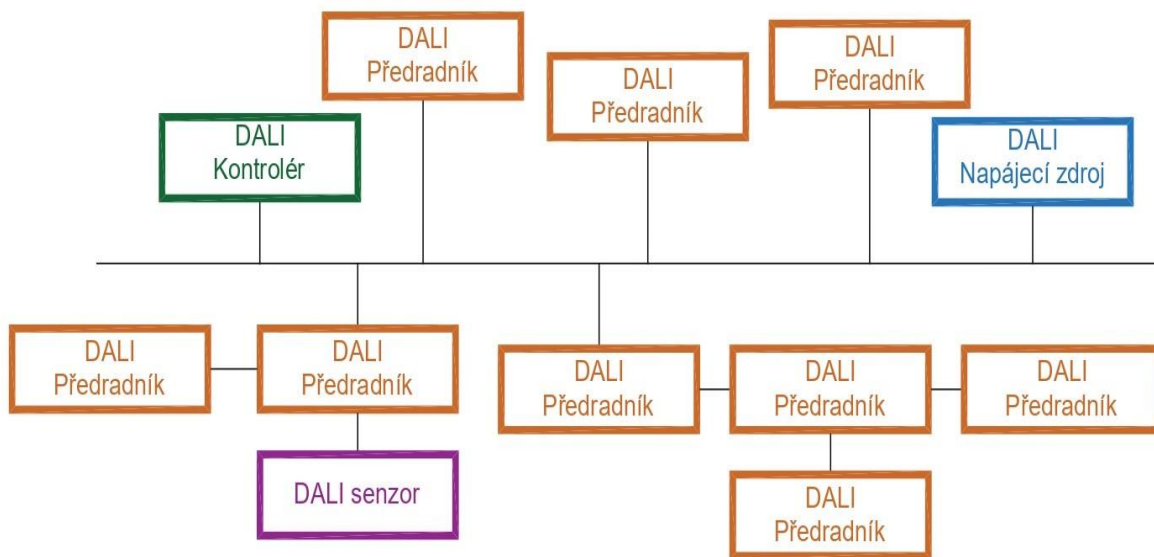
jednotlivým svítidlům přiřadit až 16 scén. Jedná se o uložené konfigurovatelné přednastavené parametry svítidel, které lze aktivovat pomocí jednoduchého příkazu [20].

3.4 Topologie

Pro správnou funkčnost systému musí nejjednodušší DALI síť obsahovat alespoň tyto 4 základní komponenty.

- DALI kontrolér
- Napájecí zdroj DALI sběrnice 16 V DC s maximálním výstupním proudem 240 mA
- DALI předradník
- Kabelové propojení

Při správném zapojení a nastavení dokáže tato síť jednoduše ovládat svítidla připojená na předradník, který je ovládán pomocí kontroléru, na kterém můžeme řídit například intenzitu osvětlení. Zapojení zařízení na sběrnici nemá předepsanou topologii a je nejčastěji zapojováno jako směs stromové a sběrnice topologie. Kombinace jednotlivých topologií je kvůli adresaci přípustná. Nedoporučuje se vícenásobné zapojení jednotlivých zařízení, jako v případě kruhové a smíšené topologie. Na následujícím obrázku je zobrazen příklad volného zapojení jednotlivých komponent ke sběrnici. [18]



Obr. 3-3 Volné zapojení ke sběrnici

Protokol DALI umožňuje i použití multi-master řídicího zařízení. Aby bylo možné ovládat stejná zařízení více master zařízeními je nutné specifikovat časování přenosu zpětných a dopředných datových rámců. Přesné nastavení časování je součástí ČSN 62386-101 [21].

Při použití multi-master zařízení je nutné sledovat, aby nedocházelo ke kolizím jednotlivých příkazů. O to se stará systém na sledování příkazů a následné řešení případných kolizí.

Multi-master zařízení se vždy musí snažit vyhnout kolizi a pokud to není možné, musí zařízení

ihned zastavit vysílání svého příkazu. Pokud po kolizi příkazů došlo k porušení časování na sběrnici, je nutné aplikovat mechanismus na obnovu správného časování.

Mechanismus na obnovu časování je spuštěn od multi-master zařízení, které přepne sběrnici na aktivní stav na delší čas a poté kontroluje, jestli je sběrnice v aktivním stavu. Pokud je sběrnice v aktivním stavu může dojít k obnově přenosu na sběrnici a zpátky k hlídání kolize příkazů [21].

3.5 Příkazy

V rámci DALI protokolu se vyskytuje velké množství příkazů, které mají dle ČSN 62386 [17] následující tvar: YAAA AAAS XXXX XXX, kde

Y: typ adresy

0 bin: krátká adresa

1 bin: skupinová adresa nebo broadcast určený pro všechna zařízení

A: 6bitová adresa

S: bit výběru

0 bin: následujících 8 X bitů obsahuje hodnotu pro přímé řízení výkonu

1 bin: následujících 8 X bitů obsahuje číslo příkazu

Tvar příkazů je ilustrován na Obr. 3-2.

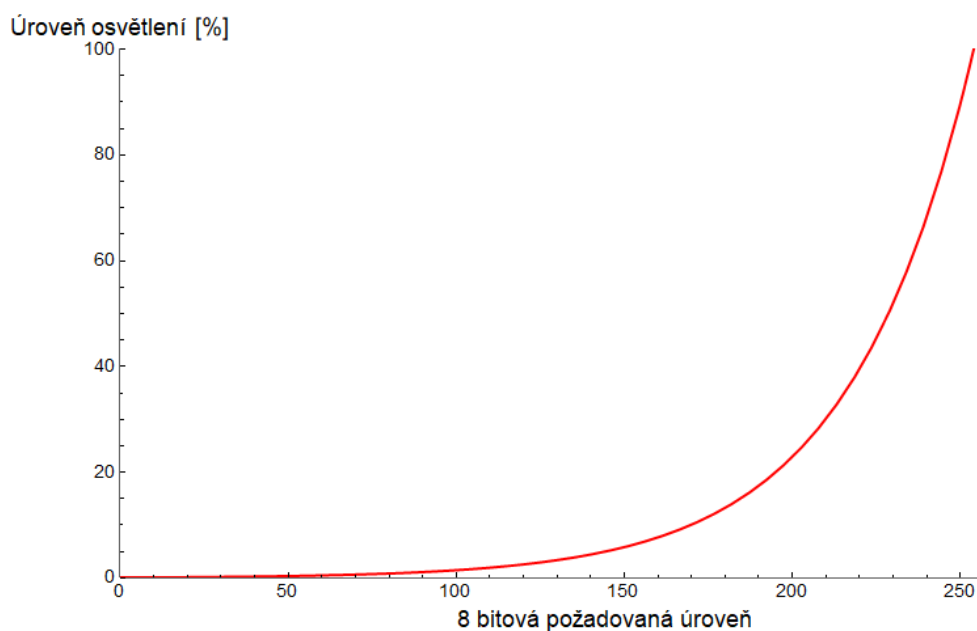
Pro přiblížení možných příkazů v rámci DALI protokolu byly rozděleny do následujících pěti skupin podle jejich funkce.

3.5.1 Příkazy přímo ovlivňující úroveň osvětlení

Příkazy pro přímé ovlivnění úrovně osvětlení rozumíme takové příkazy, které mají v datových bytech zadanou přesnou požadovanou hodnotu. Rozsah digitálních hodnot úrovně osvětlení je od 1 do 254. Je důležité zmínit, že změnou digitální hodnoty úrovně osvětlení nedochází k lineární změně výkonu dodávaného do svítidla. Regulace osvětlení DALI předřadníky se řídí logaritmickou křivkou stmívání. Převod z digitální hodnoty do úrovně osvětlení je dán následující rovnicí.

$$X(n) = 10^{\frac{n-1}{253/3}-1} \quad (3-1)$$

Graf této rovnice pro rozsah hodnot 1 až 254 je na následujícím obrázku.



Obr. 3-4 Graf převodu digitální hodnoty na úroveň osvětlení

Použití logaritmické křivky stmívání je vhodné kvůli citlivosti lidského oka na osvětlení. Lidské oko je velmi citlivé na změnu osvětlení při nízkých úrovních, a naopak méně citlivé na změny při vysokých úrovních osvětlení. Logaritmická změna osvětlení tak způsobuje, že změna úrovně osvětlení je lidským okem vnímána lineárně. Pokud by byla použita lineární křivka stmívání zdálo by se nám, že změna úrovně osvětlení z 5 % na 10 % je větší než změna ze 75 % na 80 % [22].

3.5.2 Příkazy nepřímo ovlivňující úroveň osvětlení

Tyto příkazy mění úroveň osvětlení o daný stupeň nezávisle na aktuálním nastavení svítidla. Jedná se například o příkazy „STEPUP“ a „STEPDOWN“, které mění úroveň osvětlení o jeden stupeň [17].

3.5.3 Konfigurační příkazy

Konfigurační příkazy, jak již z názvu vypovídá, neslouží k úpravě úrovně osvětlení svítidel. Tyto příkazy mají za úkol konfigurovat cílené zařízení. Příkladem takových příkazů může být příkaz „PROGRAM SHORT ADDRESS“, který zvolenému zařízení přiřadí krátkou adresu. Kromě programování samotných adres jednotlivým zařízením je možné jednotlivým zařízením programovat i registr pro přenos dat, z kterého si pak můžou zařízení data stáhnout a pamatovat si je. Příkladem takového příkazu může být „STORE THE DTR AS SCENE“, který uloží data z registru jako nastavení pro scénu [17].

3.5.4 Dotazové příkazy

Tyto příkazy mají za úkol zjistit informaci o stavu zařízení nebo o sběrnici. Master zařízení po vyslání takového příkazu čeká na odpověď. Může se jednat například o dotaz na zařízení jakou má aktuálně nastavenou úroveň osvětlení nebo jakou má krátkou adresu. Odpověď slave zařízení může mít tyto tvary [17]:

- „ANO“ – Zpětný datový rámeček obsahující samé jedničky
- „NE“ – Odpověď není odeslána a master zařízení přijme tuto pauzu jako odpověď od slave zařízení
- Data – Slave zařízení odpoví datovým bytem. Může se jednat například o aktuální nastavené úrovni osvětlení.

3.5.5 Speciální příkazy

Speciální příkazy slouží především ke spuštění a inicializaci sběrnice. Příkladem mohou být příkazy „INITIALISE“ nebo „RANDOMIZE“. Příkaz „INITIALISE“ má za úkol inicializovat ovládací zařízení. Tento příkaz musí být v krátkém časovém okně vyslán dvakrát, aby byl slave zařízením zaznamenán. Příkaz „RANDOMIZE“ se používá k vygenerování náhodné 24bitové adresy, která se používá pro přiřazení krátké adresy zařízení. Stejně jako příkaz „INITIALISE“ musí být příkaz vyslán dvakrát [17].

3.6 Certifikace zařízení

Aby mohlo zařízení používat označení kompatibility s DALI protokolem musí projít registračním procesem, který zajišťuje DiiA. Způsob registrace zařízení se liší podle toho, jestli se má jednat o označení DALI verze 1 nebo DALI 2. Všechna registrovaná a certifikovaná zařízení jsou uložena ve veřejné databázi dostupné na stránkách aliance [23].

3.6.1 Registrace zařízení DALI verze 1

V případě označení zařízení DALI verze 1 se jedná pouze o formální registraci v online formuláři, ke kterému jsou přiloženy výsledky testování produktu a jeho kompatibility. Testy jsou prováděny samotnými výrobci a nejsou aliancí nijak verifikovány, pouze uloženy v databázi pro účely evidence. Registrace zařízení není nijak zpoplatněna. Zneužití loga kompatibility není nijak penalizováno a je spíše snahou DiiA přizvat výrobce k registraci jejich zařízení. Registrované zařízení je pak opatřeno logem DALI umístěným přímo na zařízení. Na následujícím obrázku můžeme toto logo vidět [23].



Obr. 3-5 Logo DALI verze 1 [24]

3.6.2 Certifikace zařízení DALI 2

Při revizi DALI protokolu a jeho rozdělení na starší DALI verze 1 a novější DALI 2 vznikl uvnitř DiiA certifikační program, který má za úkol kontrolovat kompatibilitu jednotlivých zařízení. V případě, že chce výrobce označit svůj produkt logem DALI 2 nestačí dané zařízení pouze registrovat jako tomu bylo u starší verze protokolu, ale je nutné projít oficiálním certifikačním procesem. Aby mohla firma nechat své zařízení certifikovat musí stejně jako v případě registrace pro zařízení DALI verze 1 být členem aliance [25].

DiiA vytváří a udržuje DALI 2 specifikace testů a vyvíjí software, který obsahuje testovací sekvence pro použití na testovacích zařízeních. Aby bylo zařízení certifikováno musí projít všemi testy, které vycházejí z příslušné části normy ČSN 62386. Výsledky testů jsou pak vloženy pomocí stránky DiiA a následně ověřeny. Na rozdíl od registrace je certifikace zařízení zpoplatněna jednorázovým poplatkem pro každý certifikovaný produkt. Tento poplatek zahrnuje pouze certifikaci a neobsahuje poplatky spojené s testováním daného zařízení. Certifikované zařízení je pak označeno logem DALI 2, které můžeme vidět na následujícím obrázku.



Obr. 3-6 Logo DALI 2 [26]

Na certifikovaná zařízení s logem DALI 2 se neumísťuje logo DALI verze 1. Pokud je zařízení certifikováno pak je automaticky i registrováno [25].

3.6.3 Certifikace D4i

D4i je certifikace založená na DALI, kterou jsou označena chytrá svítidla připojitelná k internetu věcí IoT. Jedná se o rozšíření certifikace DALI 2. Taková zařízení je možné ovládat stejně jako DALI zařízení, ale navíc dokážou sledovat a shromažďovat veškeré informace o jejich použití. Tato zařízení tak dokážou sledovat svoji výkonnost, využití energie a diagnostická data ve standardizovaném formátu. Výměna těchto dat je pak umožněna přes D4i ovládací zařízení. Konkrétní specifikace pro certifikaci D4i jsou na vyžádání ke stažení na stránkách DALI Aliance. Zařízení, které je D4i certifikováno je označeno následujícím logem [27].



Obr. 3-7 Logo D4i [28]

3.6.4 DALI+

DALI+ je nejnovější specifikací od DALI aliance, která byla poprvé představena v květnu 2021. Jedná se o vylepšení stávajících specifikací DALI 2 a D4i o komunikaci na internetovém protokolu. V současné době je možné používat zařízení se specifikacemi DALI verze 1 a DALI

2 na internetovém protokolu pouze za pomoci speciálních bran, které mění běžný DALI signál na internetový komunikační protokol. Cílem DALI+ je vyřazení těchto bran a implementace stávajících příkazů tak, aby je bylo možné použít i přímo na různé internetové protokoly včetně bezdrátových technologií bez nutnosti konverze signálů [29].

Specifikace DALI+ dále rozšiřuje počet připojitelných zařízení na jednu sběrnici, neboť obsahuje systémovou adresu. Při použití internetového protokolu je pak počet adresovatelných zařízení skoro neomezený.

V rámci této specifikace je myšleno i na větší systémy, které mohou kombinovat všechny DALI specifikace a dochází tak k vzniku nového zařízení "mostu", který dokáže propojit DALI+ zařízení s DALI zařízeními, které přenáší signály na klasické komunikační dvojlince.

Jelikož je tato specifikace ve velmi raném stádiu, není zatím přesně určen proces testů a certifikace těchto zařízení, oficiální zařízení tedy zatím nejsou dostupná. Dle vyjádření DALI Aliance bude docházet k postupné implementaci podporovaných protokolů od těch nejžádanějších. Prvními podporovanými protokoly by tedy měly být internetové protokoly Thread, Ethernet a Wi-Fi. Kompletní specifikace DALI+ protokolu je v normě ČSN 62386 části 104 [30]. Zařízení, která budou certifikována na DALI+ budou logem na následujícím obrázku [29].



Obr. 3-8 Logo DALI+

3.7 Použití

Jak již bylo zmíněno v kapitolách výše, protokol DALI je velice flexibilní a nabízí velkou kontrolu nad řízením osvětlení, které se dá použít jak v domácnostech, tak ve velkých budovách jako jsou nemocnice nebo kancelářské komplexy. Jeho instalace nevyžaduje speciální uspořádání svítidel a je možné ho za chodu rozšiřovat o další zařízení, která stačí programově adresovat. V praxi má však tento protokol i několik nevýhod. Jedná se zejména o zvýšení nákladů na příslušné předřadníky a senzory. Další nevýhodou je způsob komunikace „pošli a zapomeň“, není tedy možné zkontrolovat, zda byl příkaz vykonán. Tyto nevýhody v kombinaci s faktem, že DALI protokol je určen pouze pro řízení osvětlení a není určen pro řízení dalších zařízení jako je například topení, ventilace a klimatizace daly vzniknout kombinovaným systémům řízení, ve spojení především s protokolem KNX, který byl popsán v kapitole 2.6.

Protokol KNX je pro tuto kombinaci velmi vhodný, protože umožňuje velké možnosti řízení všech zařízení a jeho silnou stránkou jsou vstupní zařízení jako vypínače, senzory a termostaty. Spojením těchto dvou protokolů pomocí KNX-DALI brány tak dochází k účinnému a flexibilnímu způsobu řízení nejen osvětlení, ale všech chytrých zařízení v dané budově. Aktuálně se jedná hlavně o pracovní prostory s velkým množstvím ovládaných zařízení, ale s postupným rozvojem chytrých domácností bude tato kombinace čím dál atraktivnější i v domácím prostředí, především z důvodu větší spolehlivosti drátových systémů oproti bezdrátovým [31].

3.7.1 Inicializace sběrnice

Inicializací sběrnice je v této kapitole myšleno nastavení správných vstupních a výstupních stavů sběrnice.

Výstupní signál je značen jako TX_PIN a jeho nastavení probíhá postupným zapsáním hodnoty LOW (log. nula) a poté HIGH (log. jedna). Inicializace končí hodnotou HIGH, protože dle specifikace DALI protokolu značí logická vysoká hodnota neaktivní stav. Vstupní signál je značen jako RX_PIN a je použit pro příjem dat ze sběrnice v případě odpovědi zařízení na sběrnici.

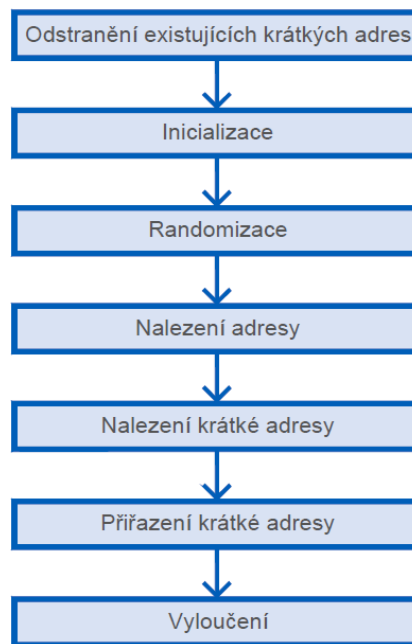
3.7.2 Přiřazení adresy

Přiřazování adres je jedním z nejdůležitějších procesů při používání DALI protokolu, neboť bez používání adres by byla ztracena hlavní výhoda tohoto protokolu, ovládání jednotlivých svítidel a skupin svítidel na sběrnici.

Při vysílání příkazů adresovaným zařízením je možné použít 2 typy adres, krátké a skupinové. Skupinové adresy se sami o sobě nepřirazují, k dispozici je 16 skupin číslovaných 0 až 15 a jednotlivá zařízení jsou do nich vložena. V případě krátkých adres pro jednotlivá zařízení je to jiné. Zařízení mohou mít již z výroby nějakou adresu, ale je možné ji volně změnit smazáním a opětovným přidáním.

Již přiřazené adresy jsou zjistitelné pomocí příkazu QUERY STATUS, který pro danou adresu vrátí stav zařízení. Použitím toho příkazu pro adresy 0 až 63 je tak zjištěno, které jsou používány.

Pro účely demonstrace bude počítáno s tím, že je sběrnice zapojena poprvé a všechny krátké adresy budou nastaveny. Proces přiřazování adres je shrnut na následujícím diagramu. Jednotlivé kroky jsou dále přiblíženy [32].



Obrázek 3-1 Diagram procesu přiřazování adres

3.7.2.1 Odstranění existujících krátkých adres

V případě, že není známo, jestli některá zařízení již mají své adresy, je vhodné hromadně odstranit všechny adresy na sběrnici. Pro odstranění adres je potřeba vyslat dva příkazy. První příkaz DTR0 DATA je použit k uložení hodnoty 0xFF do DTR neboli registr pro přenos dat. Hexadecimální hodnota FF znamená pro DTR vymazání paměti. Příkaz pro vymazání paměti DTR není adresovaný. Následným příkazem SET SHORT ADDRESS DTR0, který je adresován na všechna zařízení, tedy broadcast, je přikázáno, aby si všechna zařízení na sběrnici uložila data v DTR jako vlastní adresu, dojde tedy k jejich smazání. Pokud by bylo požadováno smazání jen některé krátké adresy, je potřeba příkaz pro uložení adresy adresovat vybraným zařízením. Příkaz pro uložení adresy z DTR spadá do speciálních příkazů a je tedy nutné ho poslat dvakrát [32].

3.7.2.2 Inicializace

Dalším krokem v přiřazování adresy je inicializace slave zařízení. Inicializace se provádí speciálním příkazem INITIALSE, který je adresovaný a je nutné ho poslat dvakrát. V případě přiřazování adres všem slave zařízením na sběrnici je tento příkaz adresován jako broadcast, který zpracují všechna zařízení na sběrnici. Inicializací zařízení se odblokuje příjem několika příkazů, které slouží k přiřazení adresy [32].

3.7.2.3 Randomizace

Příkaz RANDOMIZE je použit pro oslovení inicializovaných slave zařízení, aby si vybrala náhodnou 24bitovou adresu. Jedná se o adresovaný příkaz, který využívá broadcast, aby oslovil všechna zařízení na sběrnici. Opět se jedná o speciální příkaz, který je nutné odeslat dvakrát [32].

3.7.2.4 Nalezení adresy

Nyní je možné zařízení na sběrnici vyhledat a adresovat pomocí 24bitové náhodné adresy. Aby bylo možné u daného zařízení nastavit námi vybranou krátkou adresu musíme nejdříve toto zařízení přesně nalézt a vybrat. K nalezení 24bitové adresy slouží příkazy SEARCH ADDRH, SEARCH ADDRDM, SEARCH ADDRDL a příkaz COMPARE. Pomocí příkazů SEARCH ADDR je nastaven rozsah hledání 24bitových adres. ADDRH pro horních 8 bitů, ADDRDM pro prostředních 8 bitů a ADDRDL pro spodních 8 bitů. Pro nastavení maximálního rozsahu hledání jsou nastaveny všechny tyto hodnoty na hexadecimální hodnotu 0xFF. Při následném vyslání příkazu COMPARE dochází k vyhledání nejmenší náhodné adresy, jejíž zařízení na příkaz COMPARE odpoví a dostává se tak do stavu označení, v kterém je možné přímo nastavit krátkou adresu [32].

3.7.2.5 Nalezení krátké adresy

Číslování krátkých adres je pevně stanoveno a při jejím přiřazování je možné vybrat kteroukoliv adresu z rozsahu 0 až 63. Hledání krátké adresy je důležité v případě přiřazování více adres, aby nedocházelo ke kolizi adres. V programovém prostředí je dobré toto mít ošetřeno vyřazováním již použitých adres z rozsahu [32].

3.7.2.6 Přiřazení krátké adresy

V případě, že je vybrána 24bitová náhodnou adresu a je připravena nepoužitá krátká adresa, je možné k sobě adresy přiřadit pomocí jednoho příkazu PROGRAM SHORT ADDRESS, který bude mít v datové části zapsanou námi zvolenou krátkou adresu [32].

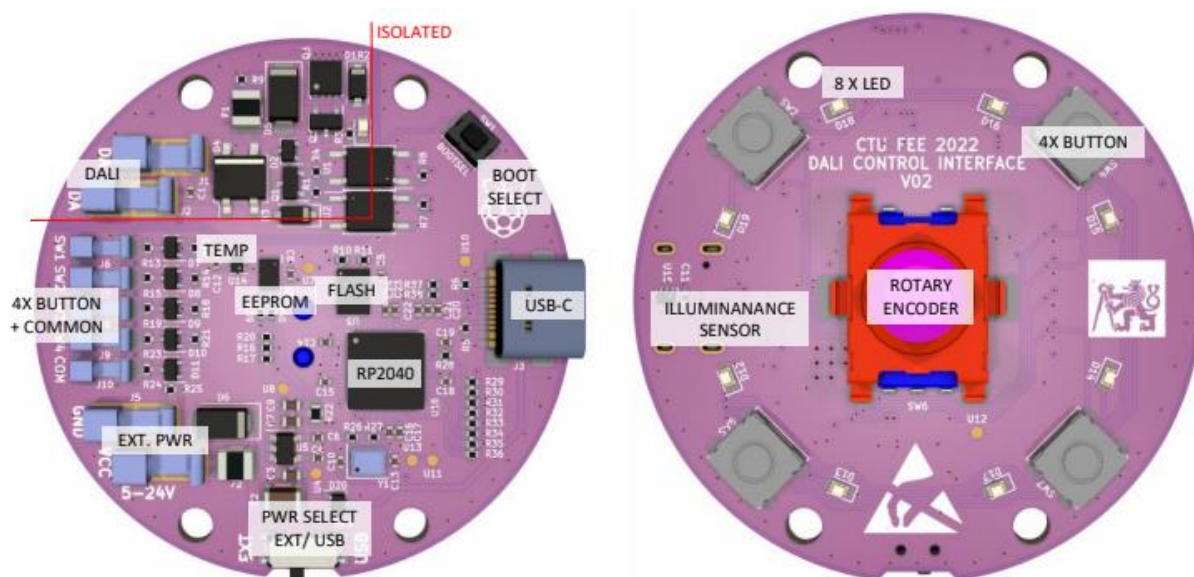
3.7.2.7 Vyloučení

Aby bylo možné po přiřazení jedné krátké adresy pokračovat v přiřazování je nutné vyloučit již adresovanou náhodnou 24bitovou adresu z příštího vyhledávání adresy. K tomuto vyloučení slouží příkaz WITHDRAW, který změní stav zvoleného zařízení na neinicializovaný a není tedy již možné mu znova přidělit náhodou adresu nebo jeho náhodnou adresu vyhledat pomocí příkazu COMPARE. Po vyloučení jednoho zařízení je možné se vrátit k procesu nalezení adresy a pokračovat v adresaci dalších zařízení [32].

KAPITOLA 4: HARDWAROVÉ VYBAVENÍ DESKY

Cílem praktické části je implementace teoreticky popsaného DALI rozhraní do funkčního celku, který bude schopný pomocí DALI příkazů řídit připojená zařízení. V rámci práce vznikla na katedře elektroenergetiky vývojová deska, která tuto implementaci umožňuje.

Vývojová deska byla vybavena několika možnými funkcionalitami, na kterých je možné i po vydání této práce dále pokračovat ve vývoji. Pro demonstrační účely je primárním cílem implementace základní komunikace za použití některých funkcí vývojové desky. Klíčovými vlastnostmi vývojové desky DALI Control Interface je izolace DALI rozhraní od řídicího procesoru, rotační enkodér a senzory teploty a osvětlenosti. Průměr desky nepřesahuje 5 cm, a je tak možné ho umístit do instalační krabice místo vypínače.

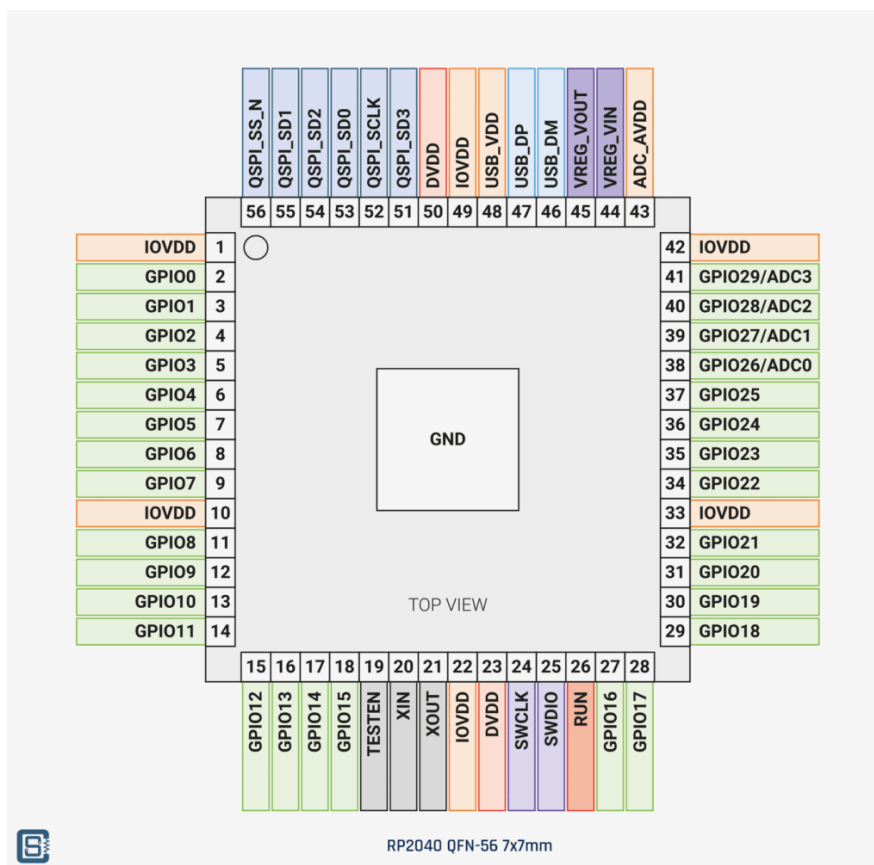


Obr. 4-1 Vývojová deska DALI Control Interface

4.1 RP2040

Nejdůležitější částí celé desky je mikrokontrolér RP2040 od firmy Raspberry Pi. Jedná se o 32bitový dvoujádrový čip ARM Cortex M0+ s taktem 133MHz, který byl poprvé představen v lednu 2021. Současně s jeho představením byla na trh uvedena vývojová deska Raspberry Pi Pico obsahující stejný mikrokontrolér [33].

RP2040 je víceúčelovým kontrolérem, který lze využít k připojení jak základních periférií využívajících obecné vstupně výstupní piny, tak i speciální zařízení fungující na datových sběrnicích typu I2C, UART a dalších. Rozvržení pinů kontroléru můžeme vidět na následujícím obrázku.



Obr. 4-2 Rozvržení pinů RP2040 [33]

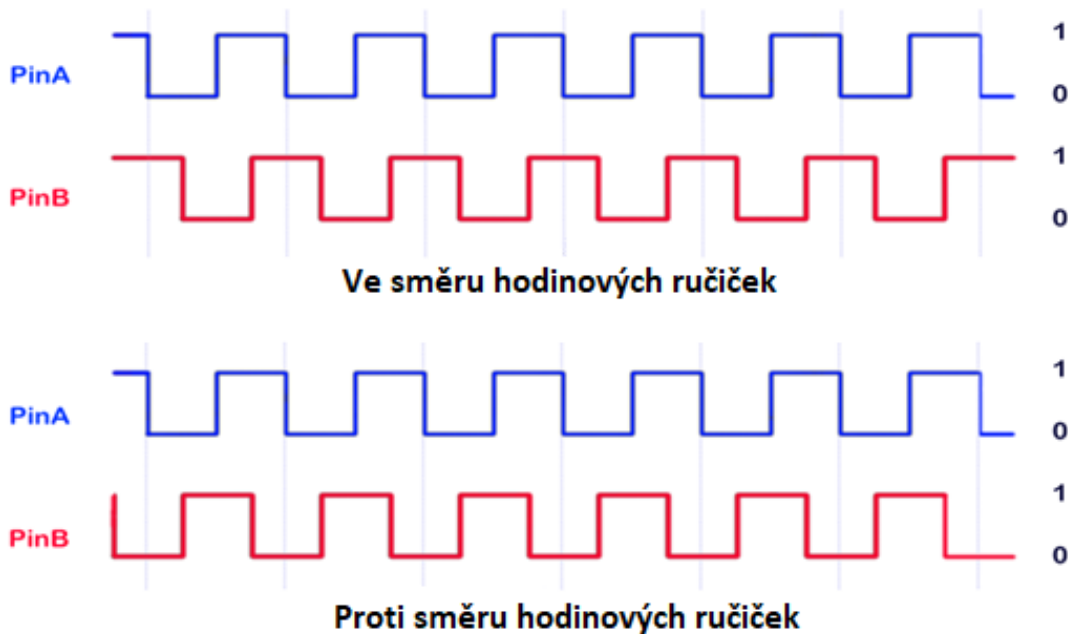
Kontrolér RP2040 byl primárně vyvinut pro programování v jazyku MicroPython, který je odlehčenou verzí klasického jazyku Python určeného pro malá zařízení. Kromě MicroPythonu je možné ho programovat i v jazyce C/C++, čehož je možné využít při programování ve vývojovém prostředí Arduino IDE.

Procesor RP2040 využívá externí flash programovou paměť, která je k procesoru zapojena na sběrnici QSPI a v případě vývojové desky má velikost 16 Mbit. Pro účely uchování provozních hodnot nebo adres je zde osazena externí EEPROM paměť na komunikační sběrnici I2C [33].

4.2 Rotační enkodér

Jako vstupní zařízení pro regulaci osvětlení byl použit rotační enkodér, který dovoluje detekci otáčení a stisk. Tyto funkce mohou být využity v budoucí implementaci pro tlumení svítidla nebo pro změnu teploty chromatičnosti.

Detekce směru otáčení je vyhodnocena pomocí sledování sledu dvou výstupních signálů označených jako A a B, občas značené jako CLK a DT, které jsou mimo fázi. Při otáčení posílá výstup A časový signál a výstup B datový signál. Pokud je při sestupné hraně výstupu A hodnota signálu 1 pak se jedná o otáčení ve směru hodinových ručiček a naopak [34].



Obr. 4-3 Detekce směru otáčení

4.3 Senzor osvětlenosti

Pro demonstrační účely byla deska osazena senzorem okolního osvětlení BH1721FVC-TR od výrobce ROHM Semiconductor. Senzor může být využit pro regulaci úrovně osvětlení v závislosti na osvětlenosti okolního prostředí nebo jako zpětná vazba. Osazený senzor snímá pouze orientační hodnotu osvětlenosti a hodí se spíše pro relativní měření pro účely rozlišení denní doby. Vzhledem k předpokladu, že vývojová deska bude uložena v uzavřeném šasi a umístěna ve vertikální poloze v místě vypínače osvětlení, bude před senzor nutné osadit světlovod z transparentního materiálu. Pro stanovení orientační hodnoty vertikální osvětlenosti by musela být provedena kalibrace v laboratoři. Data ze senzoru jsou posílána po stejné I2C sběrnici, na které komunikuje i pomocná paměť EEPROM pro mikrokontrolér [35].



Obr. 4-4 Čidlo okolního osvětlení

4.4 Senzor teploty

Na vývojové desce je osazen i senzor teploty, který s mikropočítačem komunikuje po sběrnici I2C. Ten by pak v případě softwarové implementace umožnil funkcionalitu jako je ovládání stínící techniky, přizpůsobení náhradní teploty chromatičnosti v závislosti na teplotě v prostoru nebo jako zdroj dat pro vytápěcí systémy.

4.5 Tlačítka

Součástí vývojové desky jsou i konektory pro drátové zapojení tlačítek, které jsou na Obr. 4-1 označeny jako „4xBUTTON + COMMON“. Tyto konektory dovolují instalaci vývojového modulu do instalační krabice za tlačítko se čtyřmi oddělenými vstupy. Díky tomu je možné udělat z jakéhokoliv tlačítka prvek DALI [36].

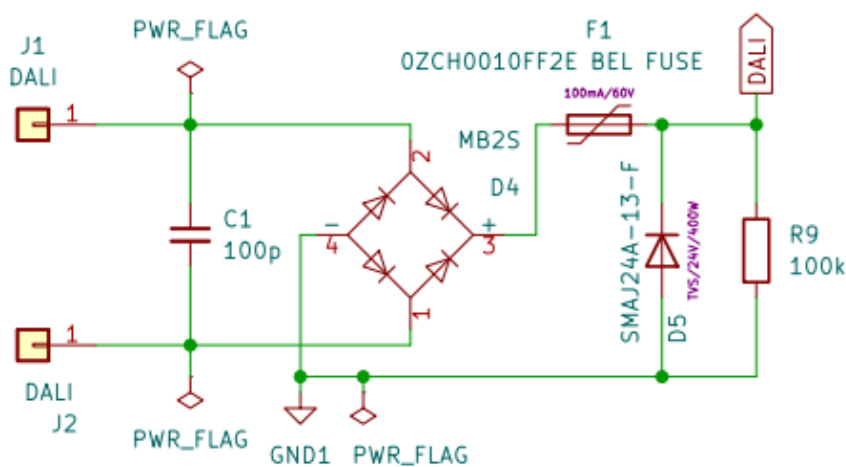


Obr. 4-5 Univerzální ovladač DALI4sw

4.6 Fyzická vrstva DALI

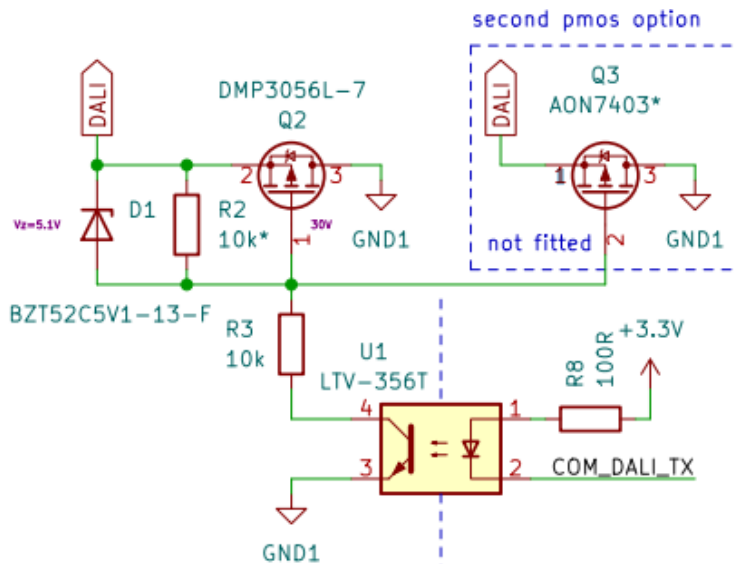
Fyzická vrstva DALI zajišťuje přeměnu výstupního signálu z mikrokontroléru na signál, který splňuje specifikace DALI. Kromě změny hladiny signálu z výstupních 3,3 V na 16 V se fyzická vrstva stará i o izolaci a správnou orientaci signálu.

Dle specifikace DALI nezáleží na orientaci zapojení do DALI sběrnice, fyzická vrstva tak musí obsahovat diodový můstek, který zajistí správné zapojení. V případě, že dojde k překročení napětí na sběrnici 24 V nebo při nadproudu je deska vybavena ochrannou diodou D5, která otevře a dojde k přerušení pojistky F1.



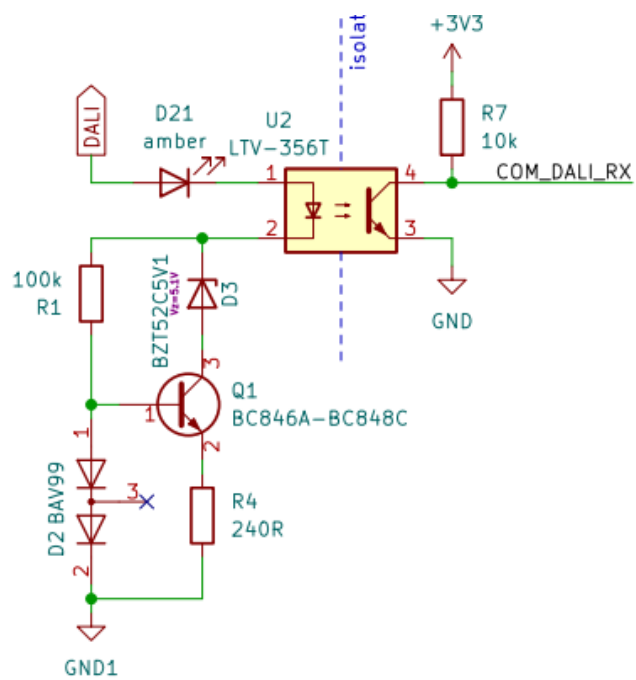
Obr. 4-6 Diodový můstek

Izolace fyzické vrstvy je zajištěna přenosem signálu přes tranzistory buzené optočleny. První část s tranzistorem Q2 slouží ke zkratování sběrnice DALI. Pokud se na COM_DALI_TX objeví logická 0 dojde k rozsvícení diody ve fototranzistoru, který otevře tranzistor v optočlenu a tím dojde k otevření tranzistoru Q2.



Obr. 4-7 Schéma – Zkratování sběrnice DALI

Druhá část s optočlenem U2 slouží ke čtení dat na sběrnici. Pokud se na DALI sběrnici objeví logická 1, dochází k otevření optočlenu U2, který pak na COM_DALI_RX přivádí logickou nulu. Dioda 21 je zde pro signalizaci příjmu dat z DALI sběrnice. Pokud je na sběrnici logická 0, dioda nesvítí a tranzistor v rámci U2 je zavřený. Na COM_DALI_RX je pak přes rezistor R7 logická 1. Tranzistor Q1 se stará o regulaci napětí pro LED fototranzistoru v rámci přípustného rozsahu.



Obr. 4-8 Schéma – Čtení dat na sběrnici

KAPITOLA 5: SOFTWARE

Hardware je v případě DALI sítě pouze zprostředkovatelem pro správnou komunikaci a je možné ho jednoduše měnit tak, aby vyhovoval jeho požadované aplikaci. Cílem je, aby program nahraný do mikropočítače zvládl posílat a přijímat požadované příkazy s předepsaným časováním za přesně daný čas stanovený v normách ČSN 62386 [17].

V rámci této práce byl vytvořen demonstrační program na vývojové desce představené v části 4.1, který má za cíl implementovat jednoduchou regulaci pomocí rotačního enkodéru, který reguluje úroveň osvětlení a při stisku vypíná nebo zapíná adresované zařízení. Dále je použit senzor osvětlenosti pro nastavení minimální možné úrovně osvětlenosti v případě noci.

5.1 Vývojové prostředí

Jako vývojové prostředí byl pro účely této práce zvolen open-source program Arduino IDE, který byl vyvinut společností Arduino. Společnost Arduino se zabývá především výrobou jednodeskových počítačů založených na mikrokontrolérech ATmega od firmy Atmel, ale je zároveň i uživatelskou komunitou, která se zabývá vývojem softwaru pro tyto počítače a přídatné komponenty, které mohou mít v podstatě jakoukoliv funkci. V rámci platformy je možné mezi uživateli sdílet knihovny zařízení a díky tomu je umožněn velmi rychlý vývoj.

Arduino IDE od dubna 2021 podporuje mbed jádra, na kterém fungují právě mikrokontroléry architektury ARM včetně RP2040. [37] Programovacím jazykem pro toto vývojové prostředí jsou lehce upravené jazyky C a C++, kde jsou odlišnosti v jazycích pouze minimální a ulehčují práci s programovanými deskami. Kompilovaný kód je do vývojové desky nahráván přes rozhraní USB.

5.2 Použité knihovny

Jak bylo zmíněno v předešlé kapitole, vývojové prostředí Arduino IDE umožňuje používat již naprogramované knihovny a některé z nich budou použity pro demonstrační program. Jmenovitě se pak jedná o DALI Lighting Interface, Wire a BH1750.

5.2.1 DALI Lighting Interface

Jedná se o volně dostupnou knihovnu ke stažení na internetovém hostingu GitHub pod licencí GNU. Ta umožňuje užití a úpravy kódu za předpokladu jeho zveřejnění pod stejnou licencí. Knihovna implementuje základní funkce jako je odesílání a přijímání dali příkazů se správným časováním, obsahuje také seznam příkazů pro DALI protokol z norem ČSN 62386.

Ve své originální verzi na GitHubu je knihovna naprogramována pro jednodeskové počítače s mikropočítači ATmega architektury AVR a je tedy pro naše potřeby nutné knihovnu upravit. Jmenovitě se jedná o vyřešení časovaných přerušení, které jsou v RP2040 řešeny odlišně. Tato změna je podrobně popsána v kapitole 5.3.1

5.2.2 Wire

Knihovna Wire je automaticky předinstalovaná ve vývojovém prostředí Arduino IDE a stačí ji pouze zahrnout v programu. Jedná se o knihovnu, která umožňuje komunikaci s připojenými I2C zařízeními. V demonstračním programu bude tato knihovna použita pro komunikaci se senzorem osvětlenosti.

Pro správnou funkčnost knihovny na mikrokontroléru RP2040 bylo nutné přepsat definice pinů, aby vyhovovali zapojení na vývojové desce.

5.2.3 BH1750

Knihovna BH1750 je další knihovnou využitou pro práci se senzorem osvětlenosti. Tato knihovna zprostředkovává nastavení připojeného senzoru osvětlenosti BH1721, komunikaci po sběrnici I2C a přepočítání získaných hodnot do jednotek osvětlenosti. Výsledná hodnota čtení ze senzoru je zatížena zejména směrovou a spektrální chybou senzoru, a tak je považována za orientační. Knihovna je volně dostupná ke stažení ve správci knihoven ve vývojovém prostředí Arduino IDE.

5.3 Uvedení sběrnice do provozu

Aby bylo možné na sběrnici posílat a přijímat informace je nutné ji uvést do aktivního stavu dle specifikace normy. V programovém prostředí to znamená hlavně správné nastavení hardwarových časovačů k zajištění specifikované rychlosti přenosu a samotná inicializace vstupních a výstupních pinů na mikrokontroléru. V případě prvního zapojení sběrnice a zařízení na ní je pravděpodobné, že budeme muset nastavit adresy jednotlivých zařízení na této sběrnici. Neadresovaná zařízení by bylo možné ovládat pomocí příkazů určených všem připojeným zařízením, ale znamenalo by to nevyužití hlavních výhod chytrého osvětlení.

5.3.1 Nastavení časovačů

Správné nastavení časovačů bylo již implementováno ve stažené knihovně Dali Lighting Interface pomocí časových registrů specifických pro mikrokontroléry ATmega. Aby bylo možné tuto knihovnu použít v našem případě bylo nutné tyto časovače změnit.

Integrované obvody rp2040 obsahují integrované časovače s globální mikrosekundovou časovou základnou a dokážou na ní generovat přerušování, tyto časovače budeme moct využít v našem případě. Všechny funkce tohoto integrovaného obvodu jsou dostupné v jeho oficiálním katalogovém listu dostupném na internetu [33].

```
static void alarm_irq(void) {
    hw_clear_bits(&timer_hw->intr, 1u << ALARM_NUM);
    alarm_in_us_arm(alarmPeriod);

    dali.timer();
    encoder();
}

static void alarm_in_us_arm(uint32_t delay_us) {
```

```

uint64_t target = timer_hw->timerawl + delay_us;
timer_hw->alarm[ALARM_NUM] = (uint32_t) target;
}

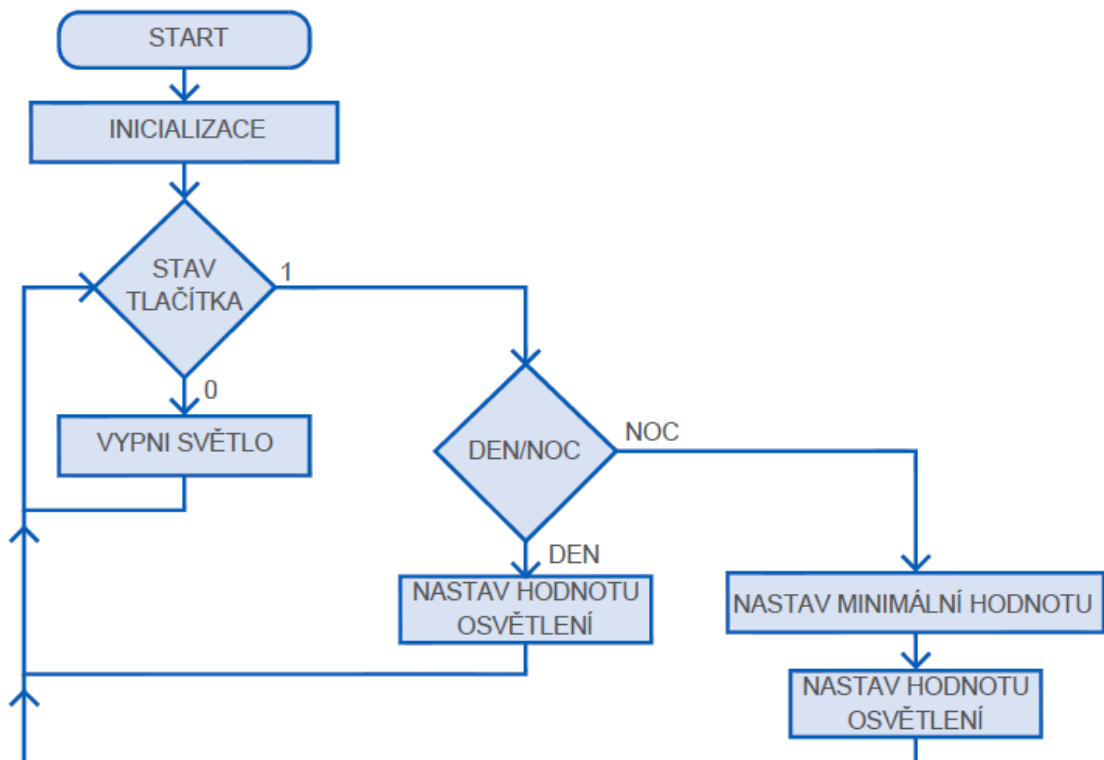
static void alarm_in_us(uint32_t delay_us) {
hw_set_bits(&timer_hw->inte, 1u << ALARM_NUM);
irq_set_exclusive_handler(ALARM_IRQ, alarm_irq);
irq_set_enabled(ALARM_IRQ, true);
alarm_in_us_arm(delay_us);
}

```

Takto již vypadá nastavení funkcí pro použití časovačů. První funkce `alarm_irq(void)` vymaže předešlé požadavky na přerušování, aby bylo možné přerušování používat opakovaně a zavolá funkci `dali.timer()`, která se vyskytuje v knihovně pro DALI komunikaci společně s funkcí `encoder()`, která obsluhuje rotační enkodér. V druhé funkci dochází k přepisu spodních 32 bitů cílového času do alarmu a dochází tak k jeho připravení na použití. Poslední funkce už přímo zapíná přerušování, ke kterému dochází po uplynutí specifikované doby `delay_us` zadané v mikrosekundách [33] [38].

5.4 Demonstrační program

Na následujícím obrázku je vidět vývojový diagram vytvořeného demonstračního programu jehož implementace je dále popsána.



Obr. 5-1 Vývojový diagram demonstračního programu

Immediately after the start of the program, there is a basic initialization of all used components. First, the microcontroller sets the pins, which are used for simple input and output

a poté spustí I2C komunikaci pro senzor osvětlenosti. Posledním krokem inicializace programu je inicializace DALI sběrnice, která byla popsána v kapitole 3.7.1. Všechny ovládací příkazy odeslané na DALI sběrnici jsou adresovány zařízení s krátkou adresou 0. Tato adresa byla zapojenému předřadníku nastavena.

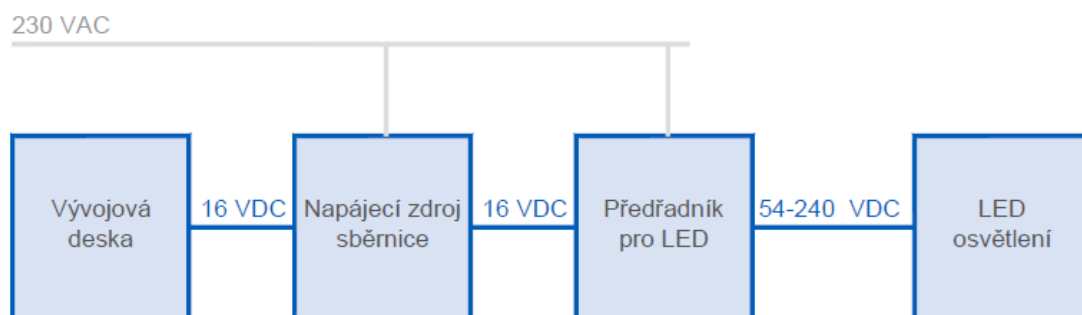
Pro okamžité zapnutí a vypnutí svítidla bylo využito tlačítko, které je součástí rotačního enkodéru. Obsluha tlačítka je zajištěna pomocí průběžného volání programu `button()`, který ho obsluhuje a ukládá jeho hodnotu. Pro zamezení falešných aktivací způsobených šumem při stisku tlačítka je uvnitř funkce nastaveno, že se aktivace vyhodnotí jako věrohodná, pokud se objevila alespoň 250 milisekund po předchozí aktivaci. Jelikož se v tomto případě jedná o binární regulaci, jsou zaznamenávány stavy tlačítka 1 – zapnuto a 0 – vypnuto.

Zaznamenávání otáčení enkodéru je pomocí funkce `encoder()`, která je volána integrovaným časovačem společně s funkcí `dali.timer()`. Funkce `encoder()` vyhodnocuje směr otáčení rotačního enkodéru a čítá pulzy do globální proměnné, která je dále v programu využita pro nastavení hodnoty osvětlení. Proměnná je omezena v rozsahu 100-255. Dolní mez byla zvolena na základě testování funkce předřadníku a připojeném osvětlení, které se pod hodnotu 100 již dále nestmívalo.

V případě, že je stav tlačítka 0 dochází k vyslání příkazu na DALI sběrnici, aby světlo zůstalo vypnuté nebo aby došlo k jeho vypnutí. Při stavu tlačítka 1 víme, že chceme světlo zapnout. V případě, že chceme světlo zapnout dochází k dotázání senzoru osvětlenosti na jeho aktuální hodnotu pozorované osvětlenosti. V případě, že je hodnota vyšší než 10 je programem vyhodnoceno, že je den a v případě, že je hodnota menší než 10 je vyhodnoceno, že je noc. V případě, že se jedná o den dochází k odeslání příkazu na DALI sběrnici k nastavení úrovně osvětlení podle naší proměnné na čítání pulzů z enkodéru. Hodnota 100 znamená vypnuto a hodnota 255 zapnuto na maximální úroveň osvětlení. Sledování dne a noci je implementováno, aby mohlo být zabráněno ztlumení svítidel na nulu v případě noci. Svítidlo pak může sloužit jako slabé orientační osvětlení. Pro případ, že je programem vyhodnoceno, že se jedná o noc dochází k blokaci vypnutí světla pomocí otáčení enkodéru. Při stisku tlačítka je stále možné osvětlení vypnout. Celý cyklus sběru dat a posílání na sběrnici je průběžně opakován.

KAPITOLA 6: OVLÁDÁNÍ OSVĚTLENÍ

Pro vyzkoušení hardwaru a softwaru bylo vytvořeno jednoduché zapojení celé sběrnice, na kterém bude představena funkčnost DALI rozhraní. Aby bylo složení DALI sběrnice úplně bylo k vývojové desce popsané v Kapitola 4: připojeno i několik dalších základních komponent. Jmenovitě se jedná o předřadník, který bude ovládat připojená světla a napájecí zdroj pro DALI sběrnici.



Obrázek 6-1 Zapojení sběrnice

6.1 Předřadník

Jako slave zařízení ovládajícím osvětlení je zapojen zdroj konstantního proudu pro napájení LED osvětlení. Jedná se o zařízení od firmy Osram typ OTi DALI 90/220-240/700 D LT2 L, které je certifikovaným DALI 2 zařízením. Tento předřadník zajistí napájení připojeného LED osvětlení s jmenovitým napětíovým rozsahem 54–240 V. Napájení předřadníku je pomocí 230 V přímo ze sítě. Napájení z DALI sběrnice je pouze pro řídicí DALI obvod.

6.2 Použitá světla

Pro demonstraci funkčnosti ovládání byly použity dvě desky s LED diodami od firmy Halla. Jedna deska obsahuje 60 diod zapojených ve skupinách po 10 diodách s celkovým světelným tokem desky 3100 lm. Jmenovité napětí desky je 30,5 V a jmenovitý proud 700 mA. Jednotlivé diody mají index podání barev minimálně 80 a teplotu chromatičnosti 4000 K.

6.3 Napájecí zdroj

Pro správnou funkčnost DALI sběrnice je nutné, aby byla napájena stejnosměrným napětím 16 V. Zdroj může být připojen v jakémkoliv bodě sběrnice, neboť DALI sběrnice má volné zapojení. Zvolený zdroj DALIpwr od firmy Foxtron je zdroj přímo určený pro napájení DALI sběrnice k instalaci na DIN lištu. Kromě stejnosměrného napětí poskytuje i omezený proud 240 mA, jehož hodnota je omezena dle norem DALI specifikace. Tímto proudem jsou napájeny všechny připojené zařízení na sběrnici, tedy hlavně předřadníky a senzory. Zdroj DALIpwr obsahuje i užitečnou signalizační diodou správné funkce napájení DALI sběrnice označenou „P/D“, která svítí při klidovém stavu sběrnice a bliká při probíhající komunikaci na sběrnici. Dále je zdroj opatřen signalizací zkratu/přetížení diodou označenou „ERR“. Zdroj je proti tomu stavu chráněn a nedochází v případě špatného zapojení k poruše. V případě

rozsvícení obou kontrolky došlo k připojení vstupního napájení 230 V na sekundární stranu [39].

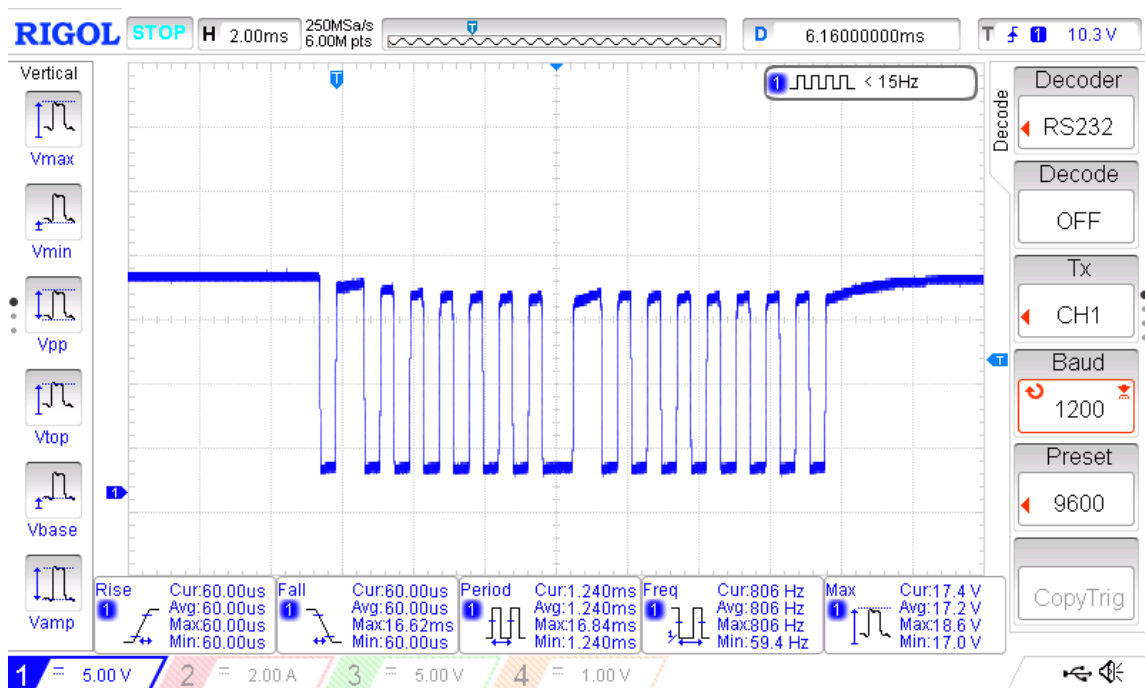


Obr. 6-1 Napájecí zdroj DALI sběrnice

6.4 Testování

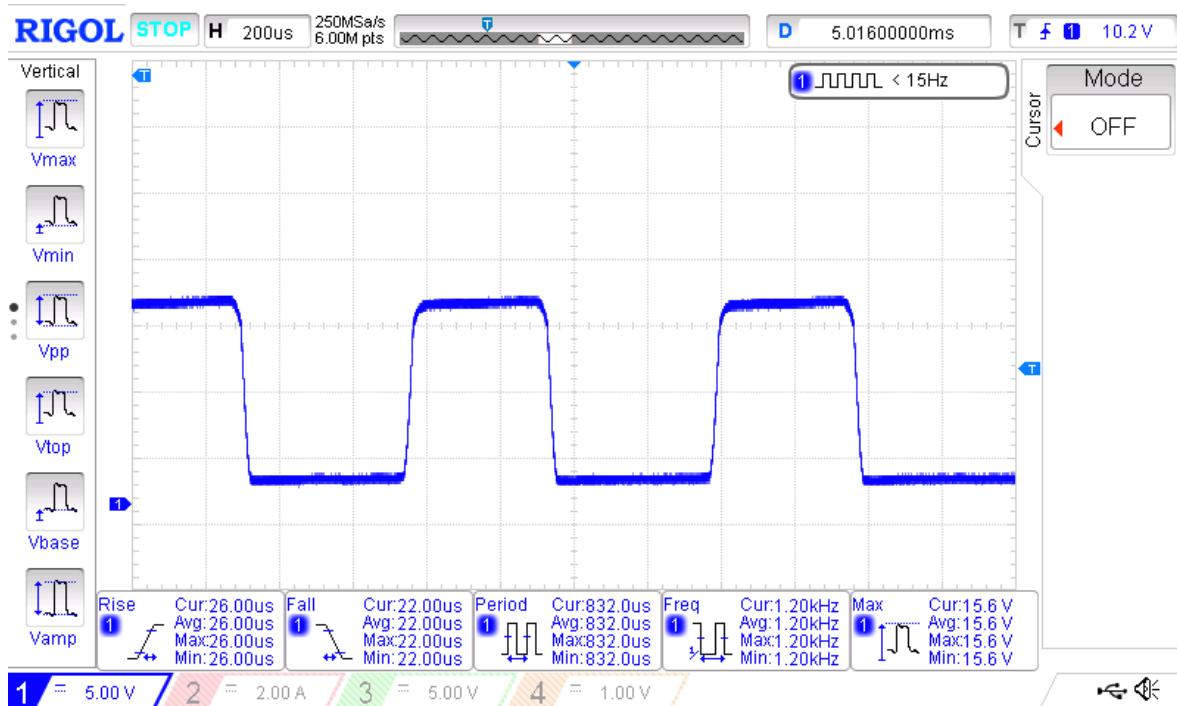
Pro vyzkoušení funkčnosti celé demonstrace byl proveden test celé sběrnice jejím zapojením a ovládáním v laboratoři světelné techniky katedry elektrotechnické ČVUT. Testování probíhalo postupným zkoušením všech funkcí programu, uvedených v kapitole 5.4.

Po ověření funkčnosti jednotlivých částí programu byla sběrnice napojena na osciloskop, aby bylo možné vidět data, která jsou posílána na sběrnici. Na prvním oscilogramu můžeme vidět celý příkaz, který byl vyslán na sběrnici. Důležitým údajem na tomto oscilogramu je zejména napětí na sběrnici, které dle měření na osciloskopu dosahovalo průměrné hodnoty 17,2 V, což je akceptovatelná hodnota pro DALI sběrnici.



Obrázek 6-2 DALI příkaz na sběrnici

Druhý sejmутý oscilogram zobrazuje detail odeslaných bitů na sběrnici. Na tomto detailu je možné pozorovat s jakou frekvencí probíhá posílání dat na sběrnici. Dle měření osciloskopu se jedná o 1.2 kHz. Frekvenci je možné jednoduše převést na rychlost v baudech, neboť znamenají to samé, akorát pro jiné použití. Z tohoto převodu nám vychází, že data jsou na sběrnici posílána rychlostí 1200 baudů což odpovídá teoretickému předpokladu vycházejícího ze standardu DALI.



Obrázek 6-3 Detail odeslaných bitů

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo provést rešerši konvenčních způsobů řízení osvětlovacích soustav s důrazem na nejpoužívanější digitální způsob řízení DALI. Na základě provedené rešerše datové komunikace DALI byl proveden návrh ovládacího prvku pomocí vývojové platformy a vytvořen demonstrační program, který byl otestován.

V teoretické části práce byla popsána motivace k řízení osvětlení s popisem konvenčních způsobů řízení osvětlení s důrazem na pro tuto práci stěžejní způsob řízení DALI. Tento protokol byl popsán důsledně, neboť teorie o jeho způsobu komunikace byla důležitá pro realizaci praktické části této práce.

Praktická část byla zaměřena na konkrétní vývojovou desku, na které byl vytvořen demonstrační program. Pro vytvoření demonstračního programu bylo nutné popsat danou vývojovou desku a dále popsat programové prostředí, které bylo použito pro vytvoření programu. Výsledný ovládací prvek byl poté zapojen s dalšími nutnými zařízeními pro vytvoření fungující plnohodnotné DALI sběrnice.

Výsledný demonstrační program dokázal ovládat připojená LED svítidla napájena pomocí certifikovaného DALI předřadníku. Součástí regulace bylo stmívání světel pomocí rotačního enkodéru dále pak vypínání a zapínání pomocí tlačítka na enkodéru, a nakonec omezování minimální hodnoty osvětlenosti pomocí zapojeného senzoru osvětlenosti. Všechny uvedené funkce byly otestovány zapojením všech zařízení k příslušnému napájení a postupným testováním jednotlivých funkcí. Během tohoto testování došlo také k připojení osciloskopu na DALI sběrnici, na kterém bylo možné vidět vyslané příkazy a detail odeslaných bitů, na kterém byla vidět přenosová rychlost podle standardu DALI.

V návaznosti na tuto práci by bylo možné pokračovat na vývoji řízení osvětlení na dané desce, neboť zde vytvořený ovládací prvek nevyužívá všechny její funkce. Možným rozšířením může být například využití senzoru tepla pro regulaci teploty barvy, nebo připojením dalších DALI zařízení k této desce pomocí již připravených konektorů.

Spojením teoretických poznatků o digitálním řízení s fyzickými zařízeními vznikl ovládací prvek, kterým byl splněn cíl této práce, a to funkční ovládání zařízení na DALI sběrnici. Tato práce mi umožnila proniknout do problematiky návrhu a realizace řízení osvětlení a mám v plánu se této problematice ve svém volném čase dále věnovat.

Tato práce může posloužit jako pomůcka pro další autory, kteří by se chtěli věnovat digitálnímu řízení osvětlení a rozvojem dalších případů užití za použití funkcí vývojové desky Dali Control Interface.

LITERATURA

- [1] Analog and Digital Lighting Control Systems- What you need to know. In: *WiSilica* [online]. [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://wisilica.com/company/analog-and-digital-lighting-control-systems-what-you-need-to-know/>
- [2] Schéma zapojení jednoduchého analogového stmívače. In: *ESVIT* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: esvit.cz
- [3] Seznamte se s DALI. In: *Oneindustry* [online]. Infocube [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/elektro/seznamte-se-s-dali/>
- [4] ANSI E1.11 - 2008 (R2018). *USITT DMX512-A Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories*. American National Standards Institute, 2018.
- [5] Co je GOBO. In: *GOBO: Light projection systems* [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <http://gobo.cz/clanky-blog/65-co-je-gobo-3>
- [6] SCHILLER, Brad. *The Automated Lighting Programmer's Handbook*. 2nd ed. Waltham: Focal Press, 2010. ISBN 978-0-240-81553-4.
- [7] XLR-5 piny. In: *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:XLR5_pinouts.svg
- [8] Understanding DMX. In: *Sweetwater* [online]. [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.sweetwater.com/sweetcare/articles/understanding-dmx/#DMX-setup-and-configuration>
- [9] ANSI E1.20 - 2010. *Entertainment Technology RDM Remote Device Management Over DMX512 Networks*. American National Standards Institute, 2011.
- [10] CHOI, Sang-Il a Seok-Joo KOH. *Reliable Transmission for Remote Device Management (RDM) Protocol in Lighting Control Networks*. 2014.
- [11] ANSI E1.17 - 2015. *Entertainment Technology - Architecture For Control Networks (ACN)*. 3rd. American National Standards Institute, 2015.
- [12] KARLICEK, Robert, Sun CHING-CHERNG, Georges ZISSIS a Ruiqing MA. *Handbook of Advanced Lighting Technology*. 1st. Cham: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-00175-3.
- [13] CADENA, Richard. *Automated Lighting: The Art and Science of Moving light in Theatre, Live Performance, and Entertainment*. Second Edition. Waltham: Focal Press, 2010. ISBN 978-0-240-81222-9.
- [14] ČSN EN 50090-1. *Elektronické systémy pro byty a budovy (HBES): Část 1: Struktura normalizace*. 2012.
- [15] *KNX System Specification*. Version 3.0. 2018.
- [16] Introducing DALI. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/dali/>
- [17] ČSN 62386. *Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení*.
- [18] BEST, Christopher. *UART with DALI Protocol Technical Brief* [online]. Microchip [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://onlinedocs.microchip.com/pr/GUID-0CDBB4BA-5972-4F58-98B2-3F0408F3E10B-en-US-1/index.html?GUID-DA5EBBA5-6A56-4135-AF78-FB1F780EF475>
- [19] P.F., Hein. *DALI - A Digital Addressable Lighting Interface For Lighting Electronics*. Chicago: IEEE, 2001. ISBN 0-7803-7114-3. ISSN 0197-2618.
- [20] HUSAIN, Shaima. Digitally Addressable Lighting Interface (DALI) Communication. *Microchip* [online]. 2012, (1465), 14 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/01465a.pdf>
- [21] ČSN 62386-101. *Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení: Všeobecné požadavky - Systém*. ED.2. 2015.

- [22] CONTENTI, C. *Digitally addressable DALI dimming ballast*. Dallas: IEEE, 2002. ISBN 0-7803-7404-5.
- [23] Product database. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/products>
- [24] DALI version-1 Logo Trademark. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/trademarks/>
- [25] Overview of DALI-2 certification. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/dali2/>
- [26] DALI-2 Logo Trademark. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/trademarks/>
- [27] D4i certification. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/d4i/certification.html>
- [28] D4i logo. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/trademarks/>
- [29] DALIplus. In: *DALI Alliance* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/daliplus/>
- [30] ČSN 62386-104. *Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení: Obecné požadavky - Bezdrátové a alternativní komponenty kabelového systému*. 2020.
- [31] KNX vs DALI Integration & Control: KNX Ireland. In: *KNX Ireland* [online]. Irsko [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://knxireland.com/2019/10/24/knx-vs-dali/>
- [32] HASKINS, Clive. *DALI Short Address Conflict Detection*. 2014. EP 2 900 041 A2. Australia. AU 2014200439 A 20140128. Uděleno 29.07.2015. Zapsáno 12.02.2014.
- [33] *RP2040 Datasheet: A microcontroller by Raspberry Pi*. Raspberry Pi Ltd, 2020.
- [34] Quadrature Rotary Encoder. In: *.NET nanoFramework* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://docs.nanoframework.net/devicesdetails/RotaryEncoder/README.html>
- [35] Čidlo osvětlení BH1721FVC-TR. In: *Mouser Electronics: Distributor Elektrotechnických Součástek* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/ProductDetail/ROHM-Semiconductor/BH1721FVC-TR?qs=phc6PQ%252BTPUPTZCey%252BxgulA%3D%3D>
- [36] DALI4sw: DALI tlačítko. In: *Foxtron* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <http://www.foxtron.cz/eshop/sbernice/dali/dali4sw-detail?lang=cz>
- [37] Arduino Mbed Core for RP2040 boards. In: *Arduino* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://blog.arduino.cc/2021/04/27/arduino-mbed-core-for-rp2040-boards/>
- [38] Raspberry Pi Pico, Arduino Core and Timers. In: *Kevin's blog: Musings about Kevin's world* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://emalliab.wordpress.com/2021/04/18/raspberry-pi-pico-arduino-core-and-timers/>
- [39] DALIpwr: DALI napájecí zdroj. In: *Foxtron: Eshop* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <http://www.foxtron.cz/eshop/sbernice/dali/dalipwr-detail?lang=cz>

PŘÍLOHA A

Součástí diplomové práce je demonstrační program vytvořený ve vývojovém prostředí Arduino IDE v adresáři Control_Device s názvem „Control_Device.ino“. K demonstračnímu programu byly přiloženy i všechny použité knihovny, které jsou uloženy v adresáři Control_Device\libraries.

Adresář Dali_Control_Interface obsahuje schéma plošného spoje vývojové desky Dali Control Interface ve formátu pdf s názvem „Dali_Control_Interface“