



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## PROTOTYP ADAPTIVNÍ ZADNÍ SVÍTILNY

PROTOTYPE OF ADAPTIVE REAR LAMP

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Holinka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Edita Hejátková

BRNO 2019

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor Mikroelektronika  
Ústav mikroelektroniky

*Student:* Bc. David Holinka  
*Ročník:* 2

*ID:* 174307  
*Akademický rok:* 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## Prototyp adaptivní zadní svítliny

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnete a realizujete prototyp adaptivní zadní svítliny založené na nové zobrazovací technologii a ovládacím softwaru umožňujícím volně definovat jednotlivé světelné funkce a jejich dynamické chování. Navrhnete vhodné systémové schéma produktu. Stanovte požadavky na funkční bezpečnost produktu a navrhnete vhodnou architekturu funkční bezpečnosti. Seznamte se s vytvářením plošných spojů a upravte návrh layoutu desek plošných spojů navrženého systému. Vhodně zvolte napájecí a řídicí část systému.

Prostuduje jednotlivé světelné funkce používané v automobilových zadních svítilnách, včetně možnosti dynamického chování. Definujte sadu požadavků, jako vstup pro vývoj softwarového řešení. Navrhnete koncept low-level ovládání nového typu zobrazovače. Navrhnete kompletní řešení řídicího softwaru svítliny podle standardního vývojového procesu pro vývoj SW v automotive (SW analýza, SW architektura, SW design a implementace). Vytvořte a proveďte oživení přípravku pro demonstraci nového typu zobrazovače. Realizaci vhodně zdokumentujte.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

*Termín zadání:* 4.2.2019

*Termín odevzdání:* 21.5.2019

*Vedoucí práce:* Ing. Edita Hejátková

*Konzultant:* Ing. Marek Papoušek, Hella Autotechnik NOVA, s.r.o.

*doc. Ing. Lukáš Fucík, Ph.D.  
předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **Abstrakt**

*Náplní této práce je návrh hardwaru a softwaru prototypu adaptivní zadní svítilny pro automotive. Hardware obsahuje řídicí modul a led panel se 150 vysoce svítivými LED diody, který slouží jako adaptivní podsvícení barevného LCD displeje. Řídicím prvkem bylo zvoleno zařízení Raspberry Pi 3 B v1.2, které obsahuje podporu všech použitých komunikačních sběrnic.*

## **Klíčová slova**

*LCD panel, LED, animace, HW, SW*

## **Abstract**

*The thesis focuses on the design of hardware and software prototype of adaptive automotive rear-lighting. Hardware includes a control module and LED module with 150 high brightness light emitting diodes. These diodes are serve as an adaptive backlight for color LCD display. The device Raspberry Pi 3 was selected as the control element. This device includes the support of all communications buses which are used in this thesis.*

## **Keywords**

*LCD panel, LED, animations, HW, SW*

### **Bibliografická citace:**

HOLINKA, David. Prototyp adaptivní zadní svítilny [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119411>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Edita Hejátková.

## **Poděkování**

*Děkuji Ing. Markovi Papouškovi za jeho odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce, dále vedoucí semestrální práce Ing. Editě Hejátkové za účinnou metodickou a pedagogickou pomoc a také panu Ing. Josefu Šanderovi za jeho ochotnou pomoc při výběru a použití vhodné technologické metody nanášení kovů.*

V Brně dne: 21. 05. 2019

.....  
podpis autor

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné  
infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072  
**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

# Obsah

Úvod.....	1
1 Sběrnice Control Area Network .....	2
1.1 Historie.....	2
1.2 Vlastnosti sběrnice .....	2
1.3 Fyzická vrstva sběrnice .....	3
1.4 Linková vrstva sběrnice .....	4
1.5 Řízení přístupu na sběrnici a řešení kolizí .....	4
1.6 Zabezpečení přenosu dat .....	4
1.7 Signalizace chyb.....	5
1.8 Základní typy zpráv.....	5
1.8.1 Datová zpráva .....	5
1.9 Žádost o data .....	6
1.10 Zpráva o chybě.....	6
1.11 Zpráva o přetížení .....	6
2 Displej z tekutého krystalu .....	7
2.1 Tekutý krystal.....	7
2.1.1 Struktura a symetrie tekutého krystalu .....	8
2.2 Technologie Twisted Nematic .....	8
2.2.1 TFT -Thin Film Tranzistor.....	9
2.3 Technologie In Plane Switching .....	10
2.4 Technologie Vertical Alignment.....	12
2.5 Technologie Plane to Line Switching .....	13
2.6 Podsvícení displeje z tekutého krystalu .....	13
2.6.1 Metody úspory energie podsvícení .....	16
3 Praktická část .....	19
3.1 Teoretický popis zařízení .....	19
3.2 Základní požadavky na zařízení.....	19
3.3 Řídící modul.....	20
3.4 CAN modul .....	23
3.5 LED panel .....	27
3.5.1 LED kontrolér .....	29
3.5.2 Napájení LED matice.....	32
3.6 Použitý displej z tekutého krystalu .....	33
3.7 Vedení světla.....	35
3.8 Funkční bezpečnost.....	36
3.8.1 Požadavky na funkční bezpečnost .....	39
3.9 Software .....	41
3.9.1 Počítačová aplikace.....	56

4	Závěr .....	59
	Literatura.....	60
	Seznam obrázků.....	62
	Seznam tabulek .....	64
	Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	64
A	Sestavené zařízení .....	66
A.1	Schéma sestaveného zařízení .....	66
A.2	Pohled na sestavenou zkušební desku.....	67



# ÚVOD

Moderní automobilové osvětlení je globální megatrend. Zvyšující se technické pokroky v osvětlení inspirují motoristy, aby vyhledávali nejnovější inovace. Zvýšený výkon, vylepšení bezpečnosti a nezapomenutelný design jsou ústředním bodem trendů automobilového osvětlení.

Před pár lety byly v osvětlení automobilů největším hitem LED. Tyto LED se jako osvětlovací technika začala používat nejdříve v souvislosti s denním svícením, avšak později se využívaly jak pro potkávací, tak i pro dálkové osvětlení.

Absolutní novinkou v automobilovém osvětlení je laserové světlo. Je to také obrovský technologický krok vpřed od zavedení halogenových, xenonových a LED světlometů. Tato osvětlovací inovace dává zcela nové možnosti v oblasti designu a výkonu světlometů. Laserové diody jsou velmi výhodné díky své malé velikosti a jejich téměř 4x větším jasů oproti jasů LED. To umožňuje zmenšit velikost světlometu, bez snížení kvality světelného výstupu. Pro řidiče bude největším přínosem dosah těchto světlometů v porovnání se světlometry ostatních technologií. Větším dosahem světlometů získá řidič lepší viditelnost a přehled o okolí, což zajistí vyšší bezpečnost.

Stálým trendem jsou také adaptivní dálkové diodové světlometry, které se automaticky přizpůsobují podle vzdálenosti protijedoucích automobilů, přičemž zajišťují, aby cesta vpřed byla plně osvětlena. Tomuto trendu má blízko koncept animovaných světelných funkcí, který nabízí řidičům pokročilé funkce například signálního osvětlení. Jde o přizpůsobování tvaru, jasů nebo i barvy světelné funkce tak, aby například při odemknutí automobilu byla spuštěna uvítací animace.

Tato práce se zabývá návrhem hardware a software prototypu právě adaptivní zadní svítily pro automotive. Na tomto zařízení je možné prezentovat designéry navrhnuté animace zadních svítlen automobilů již ve fázi vývoje světlometu a nikoli až při jeho prototypovém zhotovení. Hardware obsahuje řídicí modul a tzv. LED panel se 150 vysoce svítivými LED, které slouží jako adaptivní podsvícení LCD displeje.

# 1 SBĚRNICE CONTROL AREA NETWORK

Tato sběrnice je v práci použita jako primární komunikační sběrnice. Zajišťuje komunikaci mezi řídicím modulem (Raspberry Pi 3) a LED panelem, resp. LED drivery ASL5051SHN.

## 1.1 Historie

Sériový komunikační protokol byl původně vyvinut v roce 1983 firmou Bosch GmbH pro nasazení v automobilech. Prvním autem na trhu vybaveným touto sběrnici bylo BMW 850 coupe, v roce 1986. Zavedením CAN komunikace v konstrukci tohoto vozu se ušetřilo 2 km kabelů, polovina konektorů a hmotnost auta klesla o 50kg. Vzhledem k tomu, že přední výrobci integrovaných obvodů implementovali podporu protokolu CAN do svých produktů, dochází ke stále častějšímu využívání tohoto protokolu i v různých průmyslových aplikacích. Důvodem je především nízká cena, snadné nasazení, spolehlivost, vysoká přenosová rychlost a snadná rozšiřitelnost. V současné době je sběrnice definována normou ISO 11899. Ta popisuje parametry fyzického přenosu [14], [15].

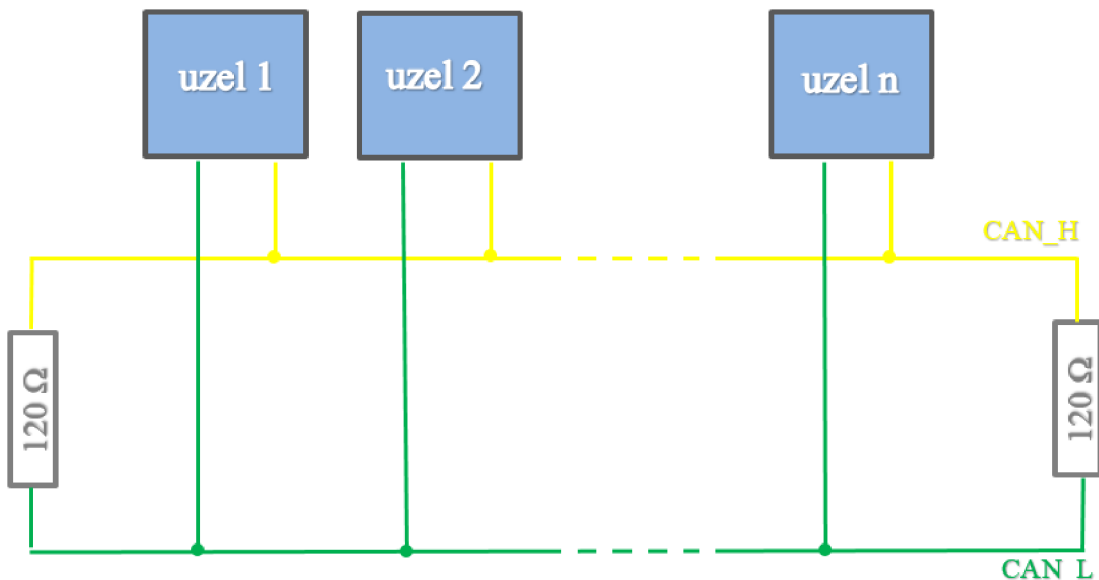
## 1.2 Vlastnosti sběrnice

CAN umožňuje řízení systémů v reálném čase s vysokým stupněm zabezpečení proti chybám. Jedná se o protokol typu multi-master, to znamená, že každý uzel připojený ke sběrnici může být master a řídit tak chování jiných zařízení. Síť nemusí být řízena z jednoho zařízení, to přináší zjednodušení řízení a zvýšenou spolehlivost. Jestliže se porouchá jedno zařízení, zbytek komunikace může pracovat dále. Po sběrnici probíhá komunikace mezi uzly pomocí zpráv (datová zpráva, žádost o data). Signalizace chyb je prováděno speciálními chybovými zprávami a zprávami o přetížení [15].

Zprávy vysílané po sběrnici nenesou žádnou informaci o cílovém uzlu, kterému jsou určeny. Jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými ke sběrnici. Jestliže jsou přijaté data pro zařízení potřebná, převezme je a dále je zpracuje. Pokud tomu tak není, na data nereaguje. Každá vysílaná zpráva je uvozena identifikátorem, ten udává prioritu (nejvyšší priorita je hodnota 0) přenášené zprávy a její význam. Výhodou protokolu CAN je zajištění, aby při kolizi byla zpráva s vyšší prioritou doručena přednostně. Díky identifikátoru lze také zajistit, aby zařízení dostávalo pouze ty zprávy, které se ho týkají [15].

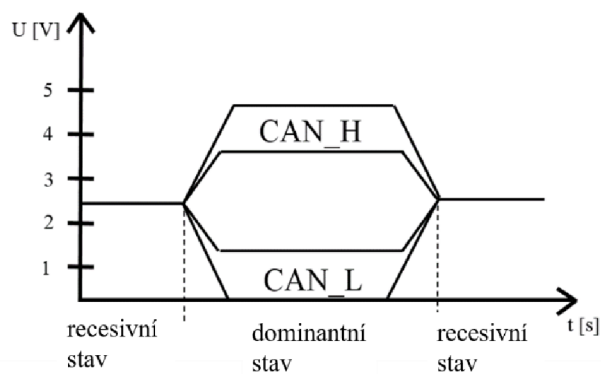
### 1.3 Fyzická vrstva sběrnice

Fyzická vrstva sběrnice CAN je složena ze dvou vodičů. Jedná se o vodiče označené CAN\_high a CAN\_low. Sběrnice je na koncích vedení zakončena zakončovacími rezistory z důvodu zabránění odrazům na vedení. Velikost rezistorů se pohybuje okolo  $120\ \Omega \pm 20\%$ . Připojení jednotlivých zařízení ke sběrnici (viz obr. 1-1) je velmi snadné [15].



Obr. 1-1 Fyzické uspořádání CAN sítě [14]

Standard protokolu CAN definuje dvě vzájemně komplementární hodnoty bitů na sběrnici, a to: dominant a recessive. Recessivní stav nastává, pokud je diferenční napětí mezi vodiči CAN\_L a CAN\_H nulové nebo pokud všechny uzly vysílají recessive bit. Dominantní stav nastane, pokud je diferenční napětí nenulové nebo pokud alespoň jeden z uzlů vysílá dominant bit. Spínače signálových vodičů jsou nastaveny tak, aby v dominantním stavu na vodiči CAN\_H bylo napětí v rozsahu 3,5 V až 5 V, na vodiči CAN\_L v rozsahu 0 V až 1,5 V. Na obr. 1-2 je na časové ose průběhu signálu znázorněno toleranční pásmo napětíových úrovní logických stavů [15], [16].



Obr. 1-2 Napětíové úrovně logických stavů na sběrnici CAN [16]

Přenosová rychlost sběrnice je až 1000 Kbit/s, avšak dosažitelná do vzdáleností 40 m. Dále pak přenosová rychlost prudce klesá [15].

## 1.4 Linková vrstva sběrnice

Linková vrstva protokolu CAN je rozdělena na podvrstvu LLC a MAC. Podvrstva LLC zajišťuje filtrování přijatých zpráv a hlášení o přetížení sběrnice podle jeho identifikátoru. Úkolem druhé podvrstvy MAC je kódování dat, vkládat doplňkové bity do komunikace, řídit přístup všech zařízení k médiu s rozlišením priorit zpráv, detekce chyb a jejich hlášení a potvrzování správně přijatých zpráv [15].

## 1.5 Řízení přístupu na sběrnici a řešení kolizí

Jelikož jde o síť multimaster, může každý z účastníků zahájit vysílání zpráv, je-li síť v klidovém stavu a je připraven. Vysílá ten, kdo přijde první. Ostatní vysílají až po odvysílání zprávy. Pokud však začne vysílat více účastníků najednou, přednost má ten, který přenáší zprávu s vyšší prioritou. Vysílač vždy porovnává hodnotu právě vysílaného bitu s hodnotou na sběrnici. Zjistí-li že se hodnota neshoduje (vysílač-recessive, sběrnice-dominant), přeruší další vysílání [15].

## 1.6 Zabezpečení přenosu dat

Chybové zabezpečení je u CAN komunikace jeden ze stěžejních prvků. Současně probíhá několik typů opatření. Jedná se o Monitoring, CRC kód, vkládání bitů, kontrola zpráv a potvrzení přijetí zprávy [15].

**Monitoring** – tento typ opatření pracuje na principu porovnávání hodnot vysílačem vysílaného bitu s úrovní na sběrnici. Pokud se hodnoty shodují, vysílač pokračuje ve vysílání. Když se hodnoty úrovně sběrnice a vysílaného bitu neshodují, přeruší se vysílání a přístup ke sběrnici získal uzel s vyšší prioritou [15].

**CRC kód** – jedná se o 15ti bitový kód, který je na konci vysílané zprávy. Pokud dojde k detekci chyby, je vygenerována chyba CRC kódu [15].

**Vkládání bitu** – jestliže se na sběrnici vysílá za sebou pět bitů stejné úrovně, do zprávy se přiřadí bit opačné úrovně, aby docházelo k sesynchronizování přijímačů a snazší detekce chyb [15].

**Kontrola zprávy** – zpráva se kontroluje podle formátu, který má udaný ve své specifikaci. Pokud je formát narušen (nepovolená hodnota na nějaké pozici bitu), vygeneruje se chyba formátu zprávy (rámce) [15].

**Potvrzení přijetí zprávy** – Správně přijatou zprávu musí každé zařízení potvrdit změnou bitu v poli ACK z recessive na dominant [15].

## 1.7 Signalizace chyb

Každé zařízení je vybaveno dvěma interními počítadly chyb udávající počet chyb při příjmu a při vysílání. Podle hodnot počítadel může zařízení přecházet mezi třemi stavy [15].

**Aktivní** – tyto zařízení se aktivně podílejí na komunikaci po sběrnici. Jestliže detekují chybu v přenášené zprávě, vysílají aktivní příznak chyby. Ten je složen šesti po sobě jdoucími bity dominant, to způsobí destrukci zprávy [15].

**Pasivní** - zařízení se také podílí na komunikaci po sběrnici, s tím rozdílem, že při detekci chyb vysílají pasivní příznak chyby. Ten je složen šesti po sobě jdoucími bity recessive, čímž nedojde k poškození zprávy [15].

**Odpojené** – tyto zařízení nemají vliv na komunikaci po sběrnici [15].

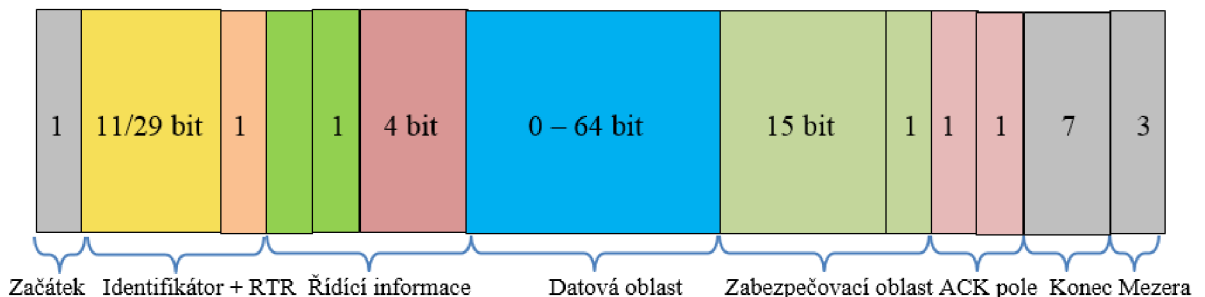
## 1.8 Základní typy zpráv

Specifikace protokolu CAN definuje čtyři základní typy zpráv [15].

### 1.8.1 Datová zpráva

Datová zpráva se týká přenosu dat. Používají se dva typy, první je definován specifikací 2.0A a je nazýván standardní formát, druhý je definovaný specifikací 2.0B a je označován za tzv. rozšířený formát zprávy. Rozdíl mezi těmito formáty je pouze v délce identifikátoru zprávy (standardní formát 11 bitů, rozšířený formát 29 bitů). Na obr. 1-3 je znázorněna formát datové zprávy [15].

Vyslání datové zprávy je možné, pouze pokud je sběrnice volná. Zařízení, které má zprávu připravenou k vysílání a detekuje volnou sběrnici, začne vysílat. Jestli dostane přístup na sběrnici nebo ne, záleží na již popsaném mechanismu řízení přístupu na sběrnici [15].



Obr. 1-3 Datová zpráva CAN [17]

**Začátek** – tzv. start bit, zahajuje začátek datového přenosu [15].

**Identifikátor** – při standardním formátu zprávy je jeho velikost 11 bitů, jedná-li se o rozšířený formát zprávy pak, je jeho velikost 29 bitů. Určuje prioritu zprávy. Součástí je i 1 bitové pole RTR, to slouží k rozlišení, zda jde o datovou zprávu (dominant) nebo žádost o přístup ke sběrnici (recessive) [15].

**Řídící informace** – obsahuje dvoubitové rezervované pole, a délku datové zprávy [15].

**Datová oblast** - tato část zprávy obsahuje samotná data, která jsou po sběrnici přenášena. Maximální velikost je 8 Byte [15].

**Zabezpečovací oblast** – obsahuje 15 bitový CRC kód, popsany v podkapitole zabezpečení přenášených dat, a jednobitový oddělovač, který je na úrovni dominant [15].

**ACK pole** – jedná se o dvoubitové potvrzovací pole [14].

## 1.9 Žádost o data

Formát této zprávy je obdobný jako formát datové zprávy. Chybí zde datová oblast a jednobitová část identifikátoru RTR je nastavena do úrovně recessive. To zajistí přednost v přístupu na sběrnici zařízení, které vysílá datové zprávy [15].

## 1.10 Zpráva o chybě

Tato zpráva slouží k signalizaci chyb na sběrnici CAN. Jestliže jakékoli zařízení připojené ke sběrnici detekuje v přenášené zprávě chybu, okamžitě vygeneruje na sběrnici chybový rámec. Podle toho, v jakém stavu se zařízení, které detekovalo chybu nacházelo, generuje na sběrnici buď aktivní, nebo pasivní příznak chyby. Podrobněji popsáno v podkapitole signalizace chyb [15].

## 1.11 Zpráva o přetížení

Jednoduše tato zpráva slouží k oddálení dalšího vysílání datové zprávy nebo žádosti o data. Využívají ji zařízení, které nestíhají kvůli svému vytížení přijímat a pracovat další zprávy [15].

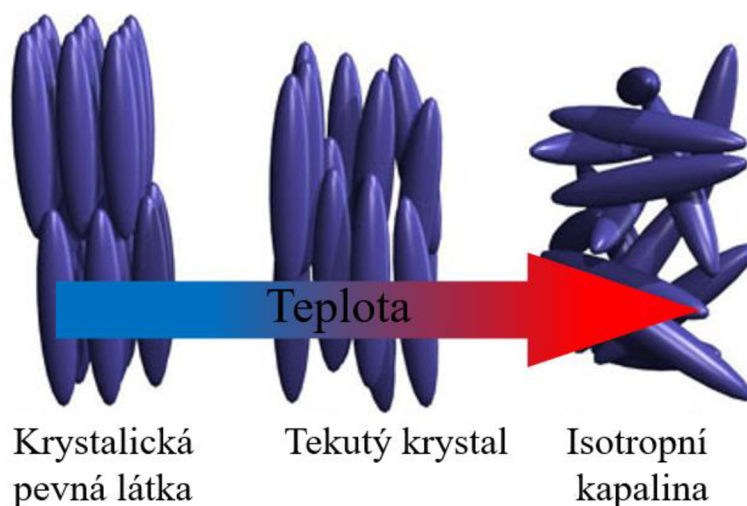
## 2 DISPLEJ Z TEKUTÉHO KRYSTALU

Tato kapitola se věnuje problematice LCD displejů, popisuje jejich principy, typy a parametry.

Liquid crystal display (LCD), jedná se o elektronické zobrazovací zařízení, které používá měnící se elektrické napětí na vrstvu tekutého krystalu, čímž v tomto krystalu vyvolává změnu optických vlastností. Displeje se běžně používají pro monitory počítačů, ploché televizory, elektronické billboardy a videokamery.

### 2.1 Tekutý krystal

Tekutý krystal je látka, která je složena ze struktury a vlastností normálně odlišných kapalných a krystalicky pevných látek. Kapaliny mohou například proudit, zatímco tuhé látky nemohou. Krystalicky tuhé látky mají speciální symetrické vlastnosti, které kapaliny postrádají. Pevné látky se při zvyšování teploty taví na kapaliny (led se taví do kapalného skupenství). Některé pevné látky se mohou tavit i vícekrát při zvyšování teploty. Mezi krystalickou pevnou látkou za nízkých teplot a kapalným stavem za vysokých teplot leží mezilehlý stav, tekutý krystal. Tekuté krystaly sdílejí schopnost toku od kapalných látek a symetrii látky od pevných látek. Výsledná kombinace kapalných a pevných vlastností umožňuje použití v důležitých aplikacích, jako jsou televizory, kalkulačky apod. [2].



Obr. 2-1 Tekutý krystal [1]

## 2.1.1 Struktura a symetrie tekutého krystalu

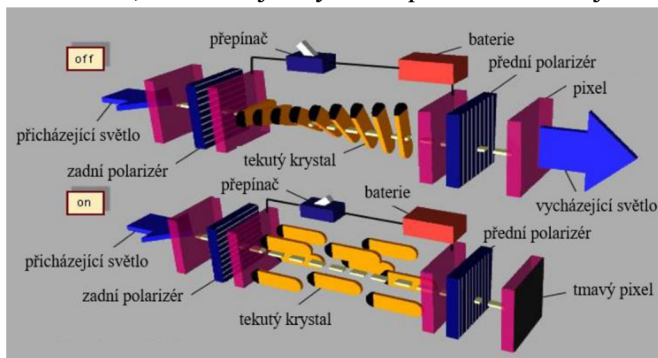
Tekuté krystaly, někdy nazývané mezofázy, zaujímají střední místo mezi krystalickými pevnými látkami a běžnými kapalinami, pokud jde o symetrii, energii a vlastnosti. Ne všechny molekuly mají tekuté krystalové fáze. Nejvíce studované molekuly vytvářející kapalné krystaly jsou protáhlé, tyčinkové molekuly, jako zrnka rýže (ale mnohem menší). Populárním příkladem je třeba látka cholesterylbenzonát. Tato látka při vzrůstající teplotě uvolňuje její molekuly (viz obr. 2-1) a látka potom přechází do kapalného skupenství. Pokud ji zahřejeme pouze mírně, dosáhneme jisté mezifáze a získáme tekutý krystal. LCD zobrazovací zařízení je tedy závislé na teplotě, při adměrném zahřátí se mohou krystaly poničit. [1], [2].

## 2.2 Technologie Twisted Nematic

Zpočátku se používali pouze panely s technologií TN. Tato technologie se vyznačuje rychlou odezvou a nízkými náklady na výrobu, avšak v ostatních vlastnostech zaostávají. Poskytují obvykle 6bitové barvy. Mají také malé pozorovací úhly – vytrácí se kontrast, a to vede ke zkreslení barev. Navíc jsou rozdílné při pohledu shora, zdola a ze stran. To je dáno šroubovitým natočením tekutého krystalu uvnitř [2].

Twisted nematic buňka je znázorněna na obr. 2-2. Je složena z horních a dolních podkladových desek, oddělených mezerou o velikosti 5 – 10  $\mu\text{m}$  vyplněnou vrstvou tekutého krystalu. Podkladové desky jsou ve většině případech průhledné sklo, na kterých je nanesen elektricky vodivý vzor oxidu Indium-cín. Elektrody jsou potaženy tenkou vrstvou polymeru, který způsobuje vyrovnávání molekul tekutého krystalu rovnoběžně s povrchem. Ve většině běžně vyráběných displejů se tyto polymerní vyrovnávací vrstvy vyrábějí o tloušťce několika desítek nanometrů a směr jejich struktury je vždy stejný [2].

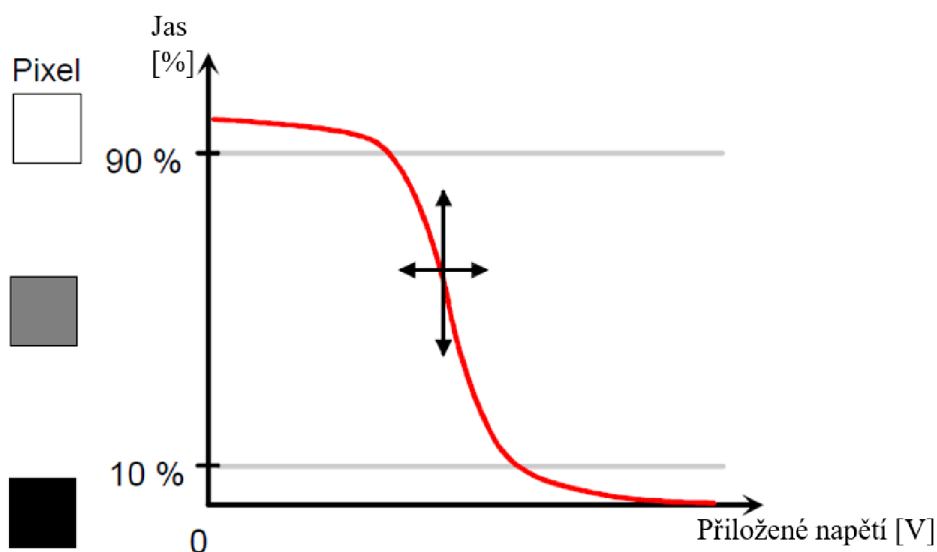
Při sestavování TN buňky jsou horní a spodní podkladové desky uspořádány tak, že směry vyrovnávacích vrstev jsou k sobě kolmé. Celá sestava je pak obsažena mezi dvojicí polarizačních filtrů, které mají osy absorpce také navzájem kolmé.



Obr. 2-2 Twisted nematic schéma [2]



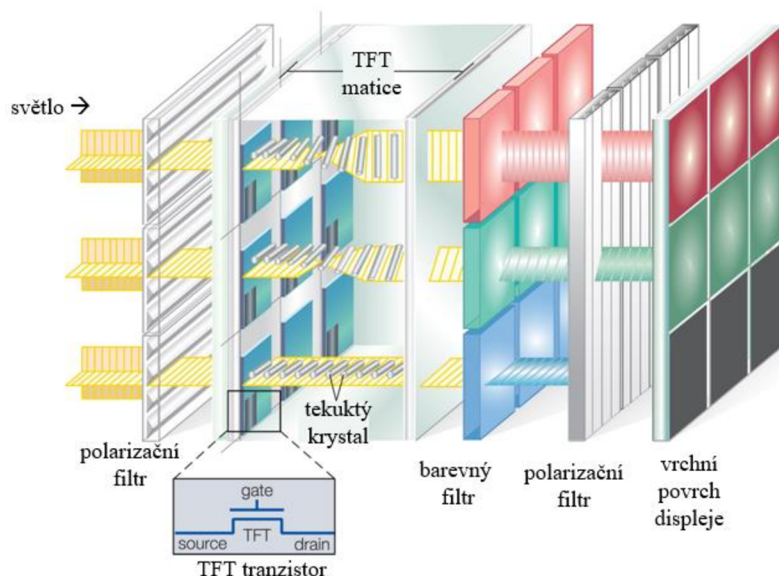
Jak lze vidět z elektro-optické křivky tekutého krystalu TN (viz obr. 2-3), tak bez připojeného napětí způsobují kolmé vyrovnávací vrstvy to, aby tekutý krystal přijal kroucenou konfiguraci z jedné podkladové desky do druhé. Bez přítomnosti tekutého krystalu by procházející světlo bylo absorbováno kvůli zkřížené struktuře polarizačních filtrů a buňka by byla zbarvena do černa. V přítomnosti tekutého krystalu se však buňka jeví jako světlá, protože optika zkrouceného tekutého krystalu odpovídá zkříženému uspořádání polarizačních filtrů. Při přiloženém napětí zhruba 3 – 5 V na tekutý krystal, se jeho molekuly orientují kolmo k podkladovým deskám a výsledné zbarvení buňky je do černa (viz obr. 2-3) [2].



**Obr. 2-3 Elektrooptická křivka tekutého krystalu (TN)**

### 2.2.1 TFT -Thin Film Tranzistor

Zobrazení složitějších obrazců vyžaduje displej s vysokým rozlišením, který obsahuje tisíce pixelů. Tyto obrazce mohou být vytvářeny pomocí TN displejů s tenkovrstvými tranzistory (TFT – Thin Film Tranzistor), v němž je každý pixel spojen s tenkovrstvým tranzistorem, který funguje jako elektronický spínač [2].



**Obr. 2-4 Základní struktura displeje s TFT technologií [2]**

Tranzistory jsou vystaveny měnícím se napětím, které mění orientaci molekul v suspenzi tekutého krystalu. Tato různá orientace mění množství světla, které může procházet maticí TFT a barevným filtrem, čímž se mění barevný obraz na obrazovce [2].

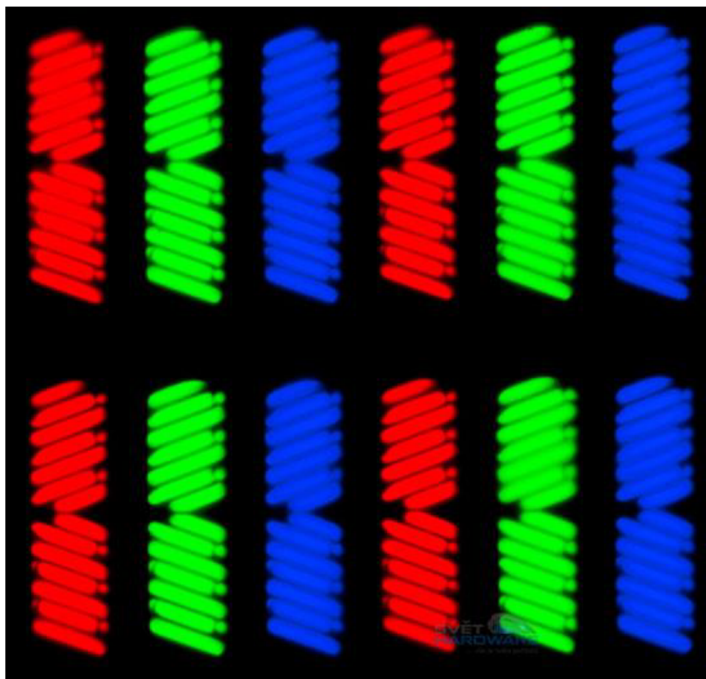
TN efekt sám o sobě vytváří černobílé obrazy, ale jak je vidět na obr. 2-4, je možné vytvářet barevné obrazy vytvářením skupin tří pixelů pomocí RGB filtrů. Zobrazený snímek je jasný díky plochému podsvícení umístěnému za panelem z tekutých krystalů [2].

### 2.3 Technologie In Plane Switching

Technologie byla vyvinuta v roce 1996 firmou Hitachi jejichž tvar jednotlivých subpixelů je znázorněn na obr. 2-5. Původně byla označována jako Super TFT (Super Thin Film Transistor) a neudávala technologii jako takovou. V roce 1998 přišla technologie S-IPS, kterou opět představila firma Hitachi. Tato technologie přinesla především lepší odezvu. V roce 2002 bylo vyvinuto vylepšení AS-IPS, které disponovalo výrazně lepším kontrastem. Jedním z hlavních představitelů této technologie je monitor NEC 20WGX2 [3].

V roce 2004 přišla technologie IPS-Pro ještě s dokonalejším kontrastem. Firma LG přišla s H-IPS, neboli Horizontal – In Plane Switching). V této technologii subpixely nemají tradiční IPS tvar rohličku, ale jsou více obdélníkové. Díky novému tvaru se zvýšila propustnost světla a tím i kontrast. V této době se vyvíjel také derivát e-IPS, který má nižší pozorovací úhly a obvykle pouze 6bitové barvy. Technologie je tímto výrazně omezená pro grafické použití [3].

Následně se objevili technologie UH-IPS (Ultra Horizontal In Plane Switching) a H2 – IPS. Jedná se o jakousi inovaci H-IPS, která poskytuje o 18 % lepší využití plochy a zároveň lepší kontrast a jas. Dalším zástupcem IPS je S-IPS 2, který se opět vrátil k původnímu tvaru subpixelu, a zvýšil využití plochy o dalších 11 %. S tím souvisí snížení energetické náročnosti a vyššího kontrastu či jasů (menší intenzita podsvětlení) [3].



**Obr. 2-5 Tvar jednotlivých subpixelů technologie IPS [3]**

Další evolucí byla technologie P-IPS (Performance In Plane Switching). Panel má tvar subpixelů opět obdélníkový panelů a obsahuje 10bitové odstíny na jeden barevný kanál (celkově 30 bitová barevná hloubka). Ve výsledku takový monitor dokáže zobrazit 1,07 miliard barev. Takovéto monitory jsou využívány například pro zobrazování rentgenových snímků, který obsahuje 1024 odstínů šedi [3].

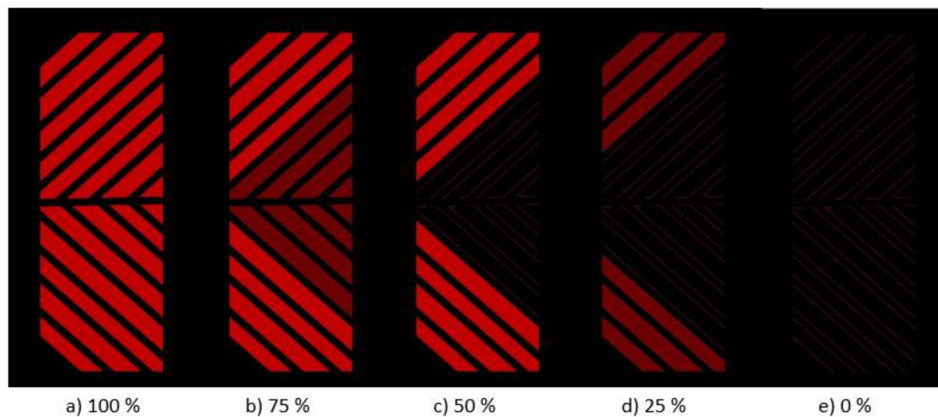
Pokud není přivedeno napětí na molekuly tekutého krystalu, tzn. subpixely jsou v klidovém stavu, tak IPS panel nepropouští světlo. Tento stav se dá nazvat také mrtvým pixelem. Molekuly tekutého krystalu jsou uspořádány do jedné roviny. Připojením elektrického pole, které je vytvořeno dvojicí elektrod v zadní části subpixelu, dojde k natočení molekul tekutého krystalu o 90 stupňů a tím se zajistí propustnost světla [3].

## 2.4 Technologie Vertical Alignment

Technologie VA se objevila jako první roku 1998 pod označením MVA (Multi-Domain Vertical Alignment) a to na popud drahé technologie IPS a naopak nedokonalé technologie TN. Firma Fujitsu se snažila vyvinout LCD displej, který bude levný a zároveň bude mít dobré vlastnosti. To se také podařilo. Technologie je výrazně lepší v pozorovacích úhlech a barvách než TN, avšak nedosahuje takových vlastností jako technologie IPS [3].

Další variantou VA je P-MVA (Premium Multidomain VA) a A-MVA (Advanced Multidomain VA) na kterých se podílela firma Au Optronics. Tyto verze zlepšily kontrast, podání barev a zlepšily pozorovací úhly. Do vývoje LCD displejů se zapojily také firmy Sony a Samsung. Jejich model nazvaly PVA (Patent Vertical Alignment) a S-PVA. Tyto panely mají lepší pozorovací úhly oproti MVA. Mají také lepší kontrast černé barvy [3].

S-PVA je rozdělen do dvou zón, kde každá obsahuje 4 domény. Tímto způsobem se jas reguluje podstatně lépe. Pokud chceme zobrazit na pixelu například 50 % intenzitu, tak se v podstatě vypne jedna zóna a druhá bude propouštět světlo na 100 %. Reálně to probíhá následovně: nejdříve začne slábnout intenzita uprostřed subpixelu a na jeho okrajích svítí stále na 100% (viz obr. 2-6b). Jakmile dosáhne střed subpixelu 0 % intenzity (obr. 2-6c), začnou pohasínat i okraje subpixelu (obr. 2-6d) [3].



**Obr. 2-6 Regulace jasu subpixelu technologie S-PVA**

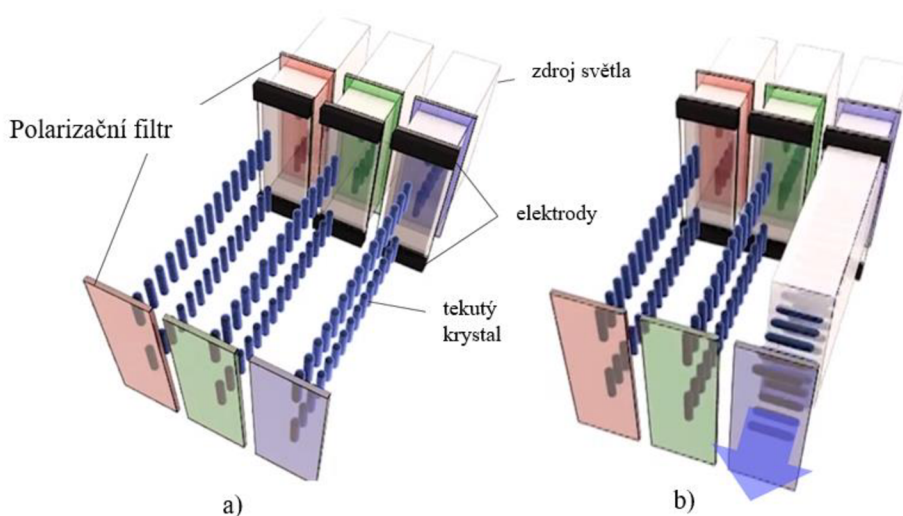
V roce 2009 přišel Samsung s cPVA panely. V těchto panelech již není pixel rozdělen do dvou zón, ale obsahuje pouze jednu zónu o čtyřech doménách. Regulace jasu probíhá po celé ploše subpixelu současně. Subpixely jsou od sebe v menších vzdálenostech, a tak dochází k lepšímu využití plochy, kontrastu a jasu [3].

Oproti technologii Twisted Nematic se molekuly tekutého krystalu nestáčí do šroubovice. Jsou uspořádány stromečkově a při rozsvěcování dochází k jejich

otevírání. Pixel ve vypnutém stavu nepropouští světlo, je černý. Při nějaké chybě je proto poškozený pixel zbarven do černa, a to je méně rušivé, než kdyby svítil [3].

## 2.5 Technologie Plane to Line Switching

Technologie PLS je založena ve své podstatě na IPS. Panely PLS vyrábí firma Samsung, která zároveň tvrdí, že v porovnání s IPS panely mají panely PLS lepší pozorovací úhly, o 10 % zvýšení jasu a o 15 % snížení výrobních nákladů a zvýšení kvality obrazu. Schéma subpixelu technologie PLS je znázorněno na obr. 2-7 [3].



**Obr. 2-7 Schéma subpixelu technologie PLS, a) klidový stav b) aktivní stav [4]**

Stejně jako předchozí zmíněné zobrazovací technologie, i PLS využívá principů chování tekutých krystalů uvnitř subpixelů. Subpixely na jejichž elektrody není přivedeno napětí, jsou v tzv. v klidovém stavu, nepropouští světlo a jejich tekuté krystaly jsou uspořádány do roviny. (viz obr. 2-7a). Přivedené napětí na elektrody způsobí natočení tekutých krystalů a to zajistí propusnost světla (viz obr. 2-7b) [4].

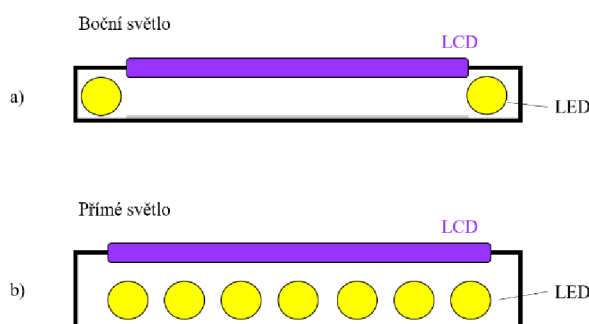
## 2.6 Podsvícení displeje z tekutého krystalu

Pro přečtení znaků, obrázků na LCD displeji, je zapotřebí jej podsvítit. Bez dobrého osvětlení by LCD panel nebyl tím čím v dnešní době je. K podsvícení se mohou použít například tenké CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) trubice. Na tyto trubice je kladen důraz, aby jejich svítivost téměř dokonale bílé barvy byla co nejvíce rovnoměrná. Barva bílé barvy se pohybuje okolo 6000 K [5].

U levnějších LCD panelů se používá systém pouze dvou trubic, což má za následek nerovnoměrné podsvícení. U dražších LCD monitorů se používá až 14 podsvicovacích trubic, které zajistí velmi rovnoměrné podsvícení. S tím souvisí také lepší životnost monitorů, jednotlivé trubice nejsou vystaveny takové zátěži, než když jsou použity například pouze 2. Monitory nacházející se ve střední cenové třídě používají 4 podsvicovací trubice. Obvyklá životnost těchto trubic je cca 50 000 hodin. Jedná se čas, při kterém trubice dosáhne poloviční svítivosti [5].

V dnešní době se však vyskytuje především podsvícení pomocí LED diod. Tento způsob podsvícování má výhodu ve výhradně nižší spotřebě neboli lepší přeměně elektrické energie na světlo a nedochází k takovému zahřívání monitoru jako při použití CCFL [5].

Původně bylo LED podsvícení koncipováno jako plošné. To znamená, že podsvicovací led diody jsou osázeny po celé zadní ploše LCD (viz obr. 2-8b). Avšak ve většině dnešních monitorů nalezneme tzv. Edge-LED podsvícení (viz obr. 2-8a). Jedná se o použití dvou až čtyř LED diodových pásek připevněných na okraji panelu [5]. Světlo je rozvedeno soustavou optických fólií. To však způsobuje nepříjemné průsvity na okraji monitoru [6].

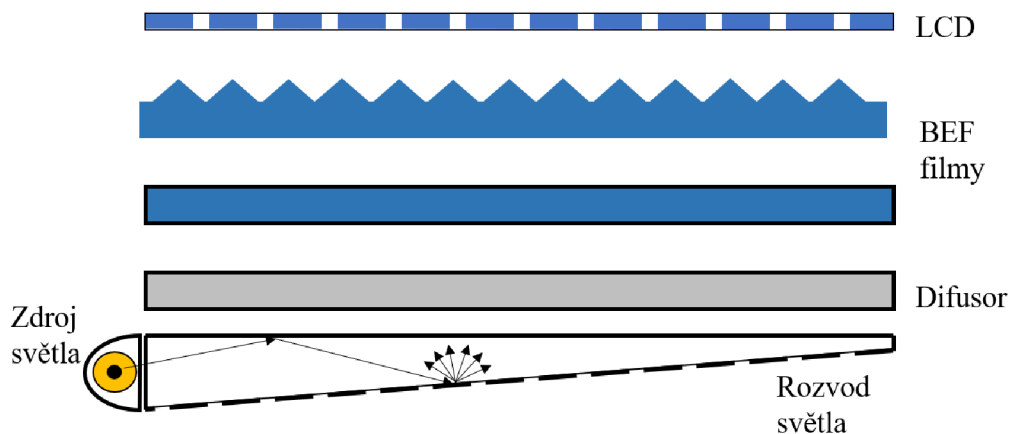


**Obr. 2-8 Typy LED podsvícení**

Požadavky na LCD podsvícení

- Vysoký jas
- Jednotnost jasu
- Vysoký stmívací poměr
- Nízká spotřeba energie
- Malé zahřívání
- Volba barvy
- Životnost
- Nízká cena

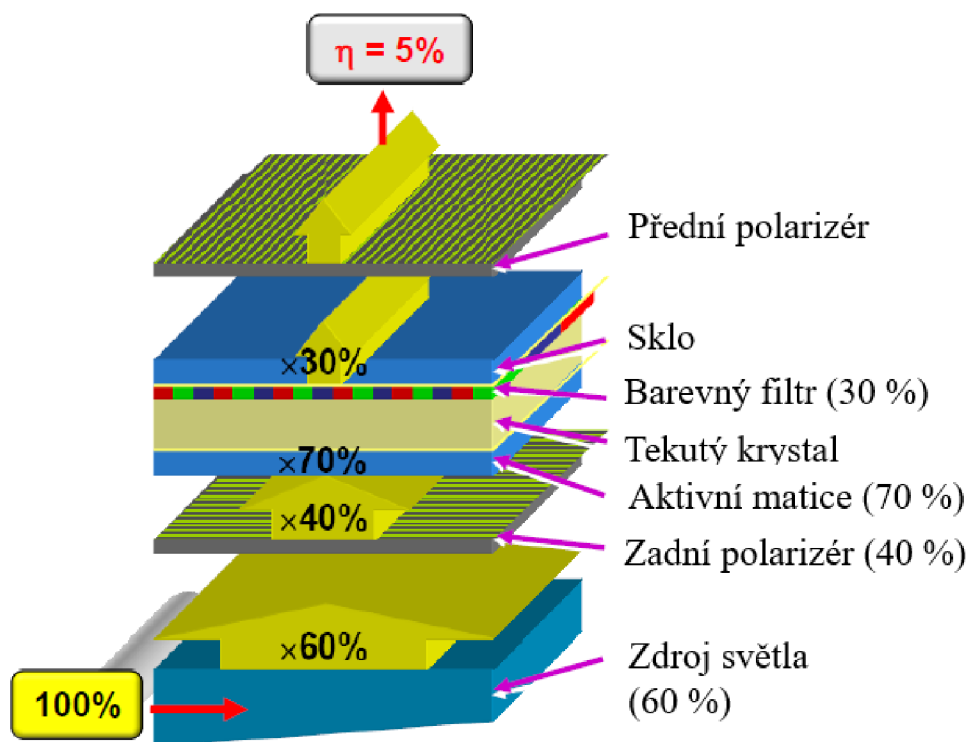
Všechny tyto požadavky však nelze splnit pomocí jediné technologie. Pro zvýšení jasů lze použít speciální filmy (viz obr. 2-9). Desky difuzoru a tzv. BEF desky (Brightness Enhancement Films) vytvářejí rovnoměrnou distribuci nehomogenního podsvícení. Tuto BEF sestavu lze optimalizovat pro různý jas nebo úhel pohledu. [6]



**Obr. 2-9 Podsvicovací systém - filmy pro vylepšení jasů**

Ztráty účinnosti světla procházejícím LCD panelem je zobrazeno na obr. 2-10. Kde lze vidět jak postupně od zdroje světla, kde je účinnost světla 100 %, postupně efektivita klesá. Pokud máme pro podsvícení LCD panelu použitý Edge Light systém (viz obr. 2-8a), dochází v tomto bodě podsvícení ke ztrátě až 60 % světelného toku. Dále jak světlo prostupuje zadním polarizačním filtrem, ztrácí dalších 40 %, jelikož pouze světlo se stejnou polarizací jako polarizační filtr je schopno projít dále. K dalším úbytkům dochází v aktivní matici tenkovrstvých tranzistorů (70 %). Průchodem RGB filtru ztrácí 1/3 své intenzity. [6]

Výsledná světelná účinnost se dá tedy spočítat (rovnice 2.1) jako součin účinností jednotlivých vrstev LCD struktury:



Obr. 2-10 Ztráta jasu při průchodu LCD strukturou [6]

$$\eta = 0,6 * 0,4 * 0,7 * 0,3 \approx 5 \% \quad (2.1)$$

### 2.6.1 Metody úspory energie podsvícení

#### Adaptivní světelný výstup

Tím je myšleno, že na základě senzoru okolního osvětlení (fotodetektor), který snímá množství okolního světla, dojde odpovídajícím způsobem k úpravě jasu obrazovky zařízení. Tím se zabrání tomu, aby byla obrazovka příliš jasná, když je používána v tmavé místnosti, nebo naopak příliš ztlumená, když je používána na denním světle. Tento fotodetektor je součástí dnes už snad všech chytrých telefonů, notebooků, LCD a automobilových displejů, u kterých tímto stmíváním obrazovky prodlužuje životnost baterie [7].

Standardní jednotkou pro osvětlení okolního světla je lux. Typická výkonnost snímače je od < 50 lux v tlumeném světle až po > 10 000 lux v jasném světle (viz tab. 2-1) [7].



**Tab. 2-1 Tabulka úrovní světla [7]**

Úroveň světla	Charakteristika okolního prostředí
< 50 lux	Tlumené osvětlení
50 – 10 000 lux	Normální osvětlení
> 10 000 lux	Jasně, zářivé prostředí

#### Adaptivní stmívání a zesílení podsvícení

Ideální úroveň podsvícení LCD displeje závisí na hodnotách RGB obsahu zobrazovaného obrázku. Pokud jsou úrovně hodnot vysoké (255, 255, 255 - bílá), panel by měl být v optimální úrovni podsvícení. Když jsou tyto hodnoty RGB nízké, podsvícení by mělo být ztlumeno. Avšak tento poměrně subjektivní požadavek je obtížně určitelný. Nejlepších výsledků lze získat pomocí analýzy histogramu. Histogramy poskytují informace o rovnováze mezi tmavými a světlými body v obraze [8].

Zpracování se provádí ve čtyřech fázích:

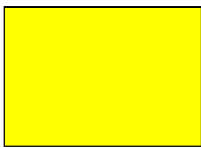



- Analýza obsahu snímku, aby bylo možné určit optimální jas podsvícení
- Vypočítat a řídit požadované úrovně světelného zdroje
- Vytvořit skutečný světelný profil podsvícení
- Dynamické řízení RGB pixelu

Tímto způsobem lze dosáhnout zlepšení úrovně černé, lepších pozorovacích úhlů i při sníženém podsvícení. Vnímání jasu obrazu však zůstává stejné. Jednotlivé typy stmívání podsvícení jsou demonstrovány na příkladném obr. 2-11 a velmi stručně popsány v tab. 2- 2.



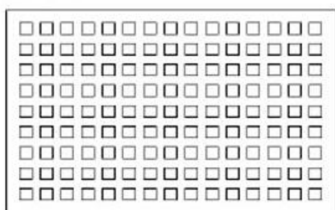
**Obr. 2-11 Obrázek pro demonstraci adaptivního stmívání podsvícení [6]**

**Tab. 2-2 Adaptivní stmívání [6]**

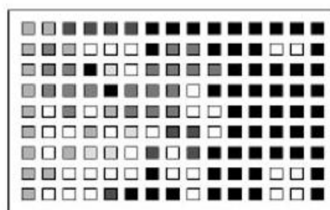
Provedení stmívání	Bez stmívání	0D	1D	2D
Spotřeba energie	100 %	80 %	70 %	50 %
Princip	Všechny LED diody na 100 %	Všechny LED diody ztlumeny	LED diody tlumeny po řetězcích	LED diodová matice, tlumení po segmentech
Zobrazení (žlutá = bílá)				

Porovnání adaptivního lokálního stmívání s tradičním podsvícením je znázorněno na obr. 2-12.

Tradiční – všechny LED diody zapnuté



Individuální řízení stmívání LED diody



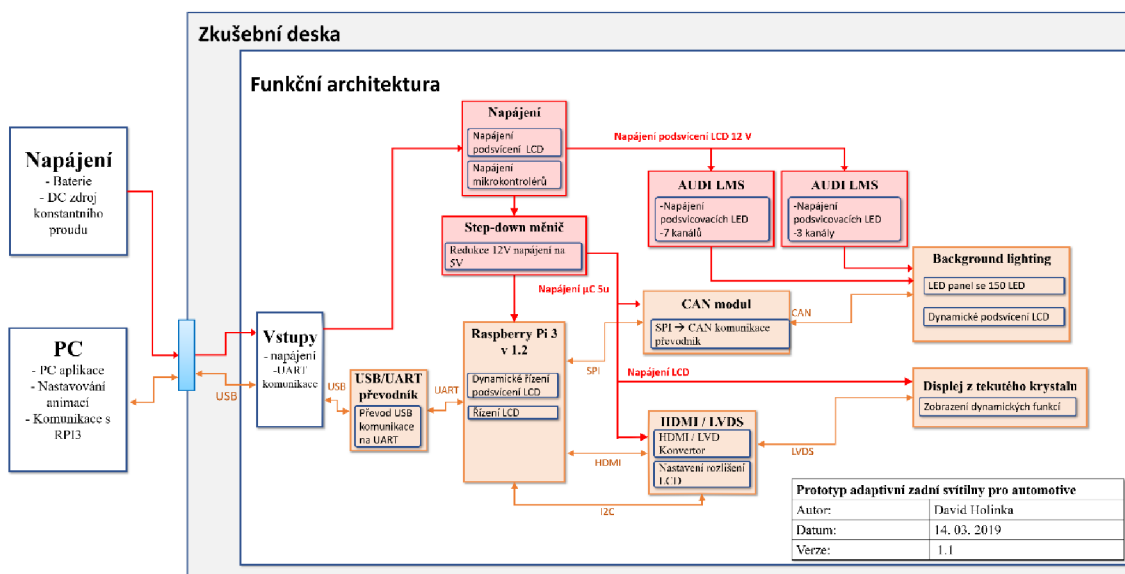
**Obr. 2-12 Porovnání tradičního a adaptivního stmívání u podsvicování LCD [6]**

## 3 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato kapitola se věnuje hardwaru a softwaru prototypu adaptivní zadní svítilny.

### 3.1 Teoretický popis zařízení

Jak je již uvedeno v úvodu, na tomto zařízení je možné prezentovat navržené animace zadních světlometů automobilů, které budou ve finální verzi světlometry obsahovat. Na tomto zařízení je možné tyto animace doladit do představované vize zákazníka.



Obr. 3-1 Systémové schéma produktu

Jak lze vidět na obr. 3-1, celý systém je řízen počítačovou aplikací. Počítačová aplikace pomocí rozhraní UART komunikuje s řídicím modulem. Pomocí této komunikační sběrnici jsou odesílány data o navržené animaci. Řídicí modul zpracuje informace a po komunikační sběrnici CAN rozešle příkazy do jednotlivých částí LED panelu. LED panel obsahuje celkem 150 vysoce svítivých diod, které jsou jednotlivě řízeny celkem patnácti LED řadiči. Tyto LED diody slouží pro podsvícení LCD displeje, na kterém bude navržená animace přehrána.

### 3.2 Základní požadavky na zařízení

1. **Hardware:** LED rozloženy v co nejmenších vzdálenostech od sebe, zajištěné chlazení systému, možnost napájení bez nutnosti potřeby síťového napětí,
2. **Software:** počítačová aplikace pro ovládání celého zařízení umožní: nastavení libovolných animací, generování dat pro řídicí jednotku.

### 3.3 Řídící modul

Pro řízení celého systému byl zvolen tzv. mikropočítač Raspberry Pi 3 Model B V1.2. Jedná se o zařízení, které bylo vyvinuto v roce 2012 britskou nadací Raspberry Pi Foundation. Hlavním cílem bylo podpořit školy ve výuce informatiky. Základním operačním systémem je Raspbian. Tento operační systém je odvětvím systému Debian pro Raspberry pi.

Základem tohoto mikropočítače je 64bitový proces, který se skládá ze 4 jader ARM Cortex-A53 a pracuje na 1,2 GHz. Obsahuje také integrovanou Wi-Fi 802.11n a Bluetooth 4.1. Raspberry Pi 3 je vybaveno SoC (System on Chip) Broadcom BCM2837. Veškeré důležité parametry jsou shrnuty v následující tabulce.

**Tab. 3-1 Základní parametry Raspberry Pi 3 Model B [9]**

Charakteristika	Raspberry Pi 3 B
Procesor	64bit 1,2 GHz ARM
Grafický procesor (GPU)	Broadcom VideoCore IV
Systém on Chip (SOC)	Broadcom BCM2837
Architektura	ARMv8 64bit
Operační paměť (SDRAM)	1 GiB
Porty USB (2.0)	Celkem 4
Vstup pro video	CSI konektor
Výstup pro video	HDMI, DSI
Zvuk – výstup	3,5 jack, HDMI
GPIO	17x
Network/sítě	Ethernet (100Mbit), Wi-Fi, Bluetooth 4,1
Napájení	microUSB, GPIO

Aby nebylo třeba externí zobrazovací zařízení, klávesnici a ovládací myš pro ovládání řídicího modulu, je Raspberry připojeno přímým spojením ethernetovým kabelem. Tyto externí prostředky byly nutné pro první použití, a to pro zjištění přiřazené IP adresy zařízení. Tuto adresu jsem získal zadáním příkazu do terminálu (obr. 3-2):

```
pi@raspberrypi: ~ $ sudo ifconfig.
```

```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@raspberrypi:~ $ sudo ifconfig  
can0: flags=193<UP, RUNNING, NOARP> mtu 16  
    unspec 00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00 txqueuelen 10 (  
UNSPEC)  
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0  
  
eth0: flags=4163<UP, BROADCAST, RUNNING, MULTICAST> mtu 1500  
    inet 192.168.137.10 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.137.255  
    inet6 fe80::c524:a2a5:7ea5:f026 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>  
    ether b8:27:eb:f6:c0:24 txqueuelen 1000 (Ethernet)  
    RX packets 842 bytes 56437 (55.1 KiB)  
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
    TX packets 722 bytes 414351 (404.6 KiB)  
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0  
  
lo: flags=73<UP, LOOPBACK, RUNNING> mtu 65536  
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0  
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>  
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)  
    RX packets 41 bytes 2188 (2.1 KiB)  
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
    TX packets 41 bytes 2188 (2.1 KiB)  
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0  
  
wlan0: flags=4099<UP, BROADCAST, MULTICAST> mtu 1500  
    ether b8:27:eb:a3:95:71 txqueuelen 1000 (Ethernet)  
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0  
  
pi@raspberrypi:~ $ █
```

### Obr. 3-2 Zjištění IP adresy zařízení

Aby bylo možné připojit se ke grafickému terminálu postaveném na protokolu VNC (Virtual Network Computing), bylo třeba nainstalovat VNC server pomocí příkazu:

```
pi@raspberrypi: ~ $ sudo apt-get install tightvncserver
```

Pro připojení ke grafickému terminálu je třeba připojit ethernetový kabel do počítače a do aplikace VNC Viewer zadat příslušnou IP adresu zařízení (192.168.137.90). Po zadání správných přihlašovacích údajů jsme schopni plně ovládat řídicí modul.

Pro přenos souborů mezi počítačem a řídicím modulem byl zvolen File Transfer Protocol (FTP) server. Tento FTP server, jak již naznačuje jeho název, umožňuje přenos souborů (přijímat nebo odesílat) se vzdáleným serverem. Bylo možné zvolit mezi dvěma metody tohoto serveru:

1. „from inetd“ – tato metoda umožňuje spustit server pouze v případě, že se klient pokusí připojit. Nevýhodou této metody je zpomalené připojení k serveru.
2. „standalone“ – Tato metoda byla zvolena, umožňuje FTP serveru běžet 24 hodin 7 dní v týdnu. Výhodou je rychlé připojení.

Pro instalaci tohoto serveru byl použit příkaz:

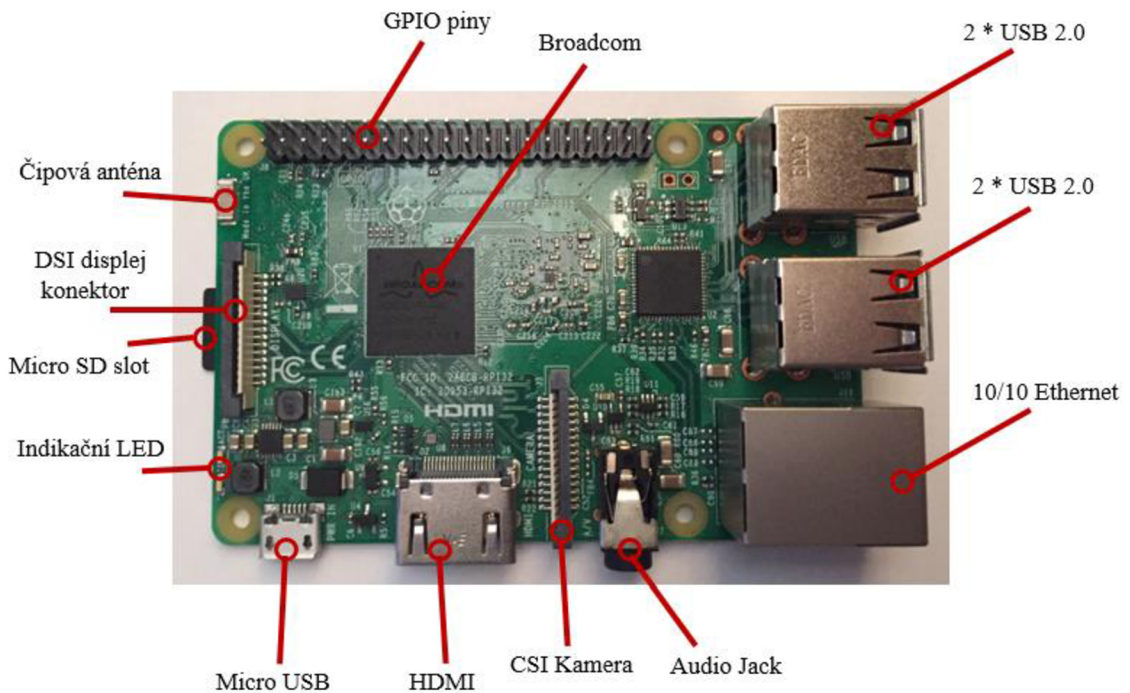
```
pi@raspberrypi: ~ $ sudo apt install proftpd
```

Adresa tohoto FTP serveru je *192.168.0.113*, a je opatřena originálními přihlašovacími údaji.

Na obr. 3-3 je znázorněno použité řídicí zařízení Raspberry Pi 3. Systém je nainstalován na přenosné microSD kartě od výrobce Kingston o kapacitě 8 GB. Verzi operačního systému je možné zjistit po zadání příkazu:

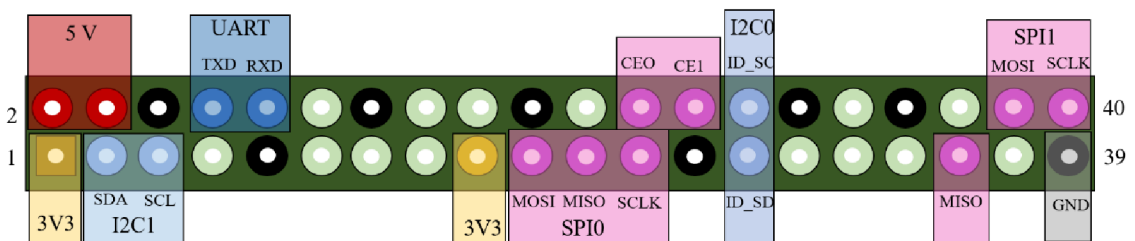
```
pi@raspberrypi: ~ $ uname -a
```

Výsledkem je: *Linux Raspberrypi 4. 4. 50 - v7 +*



**Obr. 3-3 Řídicí modul - Raspberry Pi 3**

Jednou z nejpoužívanějších částí řídicího modulu je konektor s GPIO (General Purpose Input/Output) piny (schématické znázornění je zobrazeno na obr. 3-4). Tento konektor obsahuje vstupně/výstupní piny, na kterých je možné nastavit logickou 0/1, respektive 0 V/3,3 V.



**Obr. 3-4 Rozložení pinů na GPIO konektoru Raspberry Pi 3**

Vedle vstupně/výstupních pinů je možné využít pinů se speciální funkcí. Například pro sériovou komunikační sběrnici UART jsou to piny čísla (viz tab. 3-2):

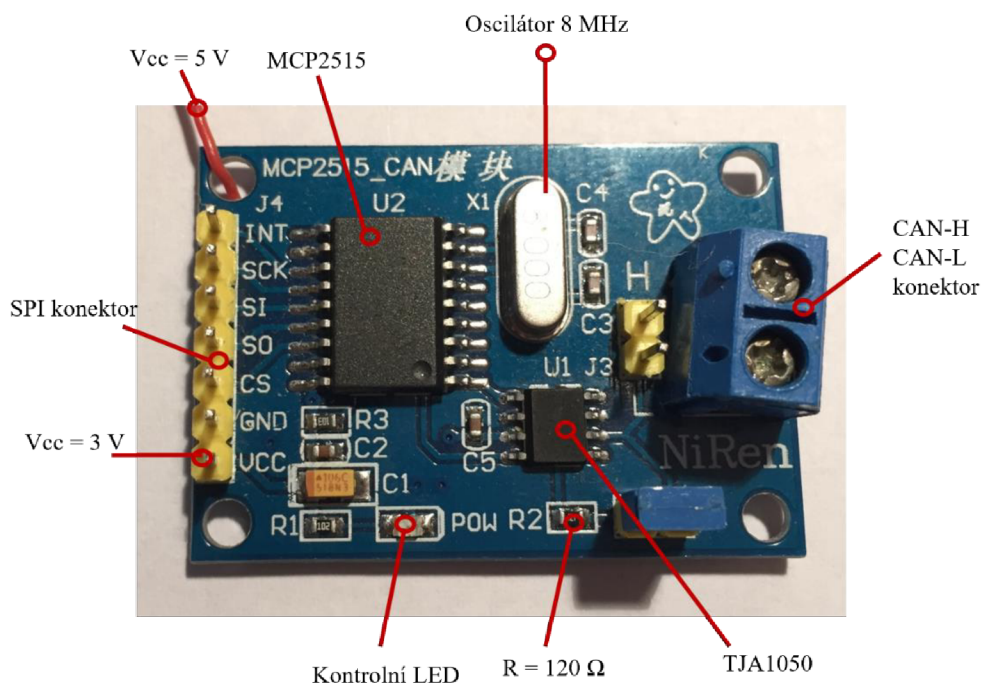
**Tab. 3-2 Rozložení pinů Raspberry Pi 3 pro komunikaci UART**

Raspberry Pi 3: Pin #	Funkce
08	TXD0
10	RXD0

Tato komunikace je použita pro připojení řídicího zařízení k počítači pro přenos informací o definovaných animacích.

### 3.4 CAN modul

Další použité piny jsou uvedeny v tab. 3-3. Tyto piny v práci slouží k připojení modulu převodníku sériové komunikační sběrnice CAN (viz obr. 3-5). Modul obsahuje řídicí integrovaný obvod MCP2515 a přijímací obvod TJA1050. Pomocí tohoto modulu lze ovládat všechna zařízení připojená ke sběrnici CAN pomocí rozhraní SPI.



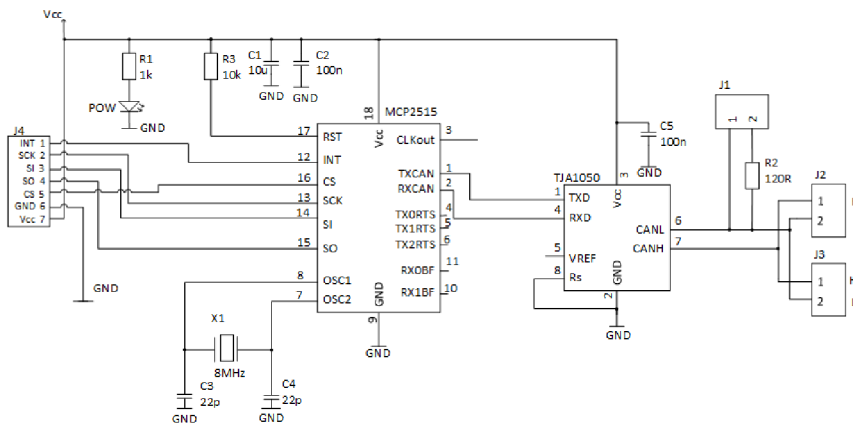
**Obr. 3-5 CAN modul**

**Tab. 3-3 Rozložení pinů Raspberry Pi 3 pro připojení CAN převodníku**

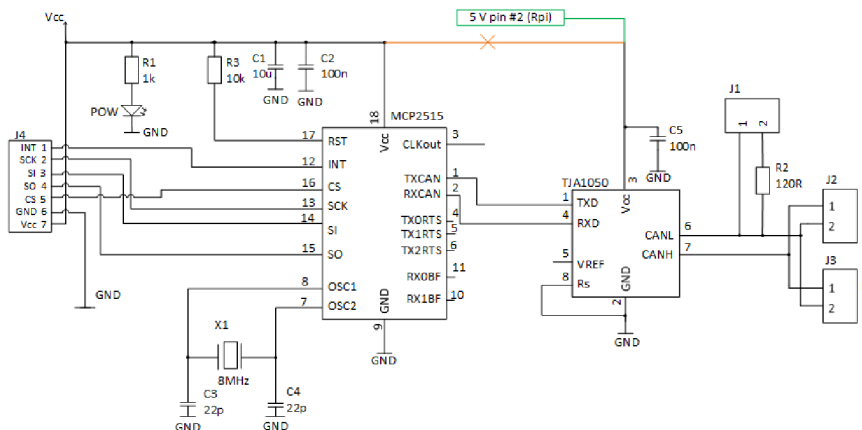
MCP2515	Raspberry Pi 3: Pin #	Funkce
VCC	1	3V3
TJA 1050 (VCC)	2	5V
GND	6	GND
CS	24	CE0
MISO	21	MISO
MOSI	19	MOSI
SCK	23	SCK
INT	22	GPIO25

Převodník sběrnice CAN je nutné před použitím modifikovat. Použitý modul má pouze jeden napájecí pin Vcc. Integrovaný obvod MCP2515 je nutné napájet 3,3 V, avšak CAN přijímač TJA 1050 musí být napájen alespoň 5 V. Je potřeba tyto napájecí cesty oddělit a pro obvod TJA1050 přivést zvlášť napájení 5 V přímo z konektoru Raspberry Pi 3 (#Pin 2).

Na následujících obrázcích je znázorněno originální schéma zapojení CAN modulu (obr. 3-7) a jeho modifikace (obr. 3-6).



**Obr. 3-7 Originální zapojení CAN modulu**



**Obr. 3-6 Modifikované zapojení CAN modulu**



Pro nakonfigurování sériové komunikační sběrnice bylo nutné upravit konfigurační soubor Raspberry Pi. K tomu slouží příkaz:

```
pi@raspberrypi: ~ $ sudo nano /boot/config.txt
```

Do tohoto souboru byly připsány následující řádky:

```
dtoverlay=spi=on  
dtoverlay=mcp2515-can0,oscillator=8000000,interrupt=25  
dtoverlay=spi1-lcs
```

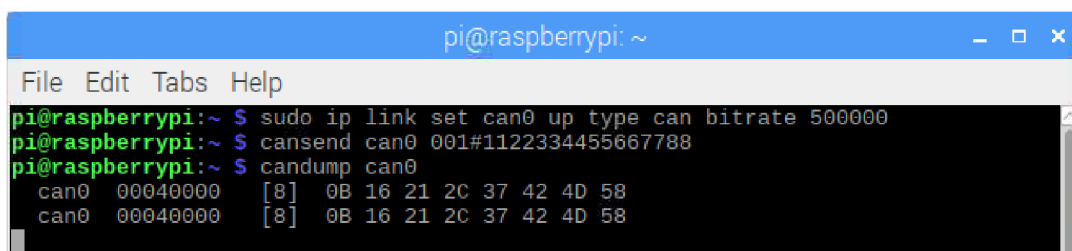
To zajistí aktivaci sériové komunikační sběrnice SPI, pomocí které jsou přenášena data mezi řídicím modulem a obvodem MCP2515 na CAN modulu. Nastaví se zde také frekvence oscilátoru na 8 MHz. V poslední řadě je nutné nastavit rychlost na této sběrnici. Ta je zvolena na 500000 baudů.

```
pi@raspberrypi: ~ $ sudo ip link set can0 up type can bitrate 500000
```

Pro odeslání zprávy pomocí sběrnice CAN je užíván příkaz:

```
pi@raspberrypi: ~ $ cansend can0 001#1122334455667788
```

Použitý formát zprávy je standardní formát, který je definován specifikací 2.0A. Existuje ještě tzv. rozšířený formát zprávy 2.0B. Rozdíl mezi těmito formáty zprávy je v délce identifikátoru zprávy. U standardního formátu je to 11 bitů, u rozšířeného 29 bitů. Vysílání datových zpráv je umožněno, pokud není sběrnice obsazena jiným přenosem. Na obr. 3-8 je znázorněno nastavení sběrnice CAN na řídicím modulu.



```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@raspberrypi:~ $ sudo ip link set can0 up type can bitrate 500000  
pi@raspberrypi:~ $ cansend can0 001#1122334455667788  
pi@raspberrypi:~ $ candump can0  
can0 00040000 [8] 0B 16 21 20 37 42 4D 58  
can0 00040000 [8] 0B 16 21 20 37 42 4D 58
```

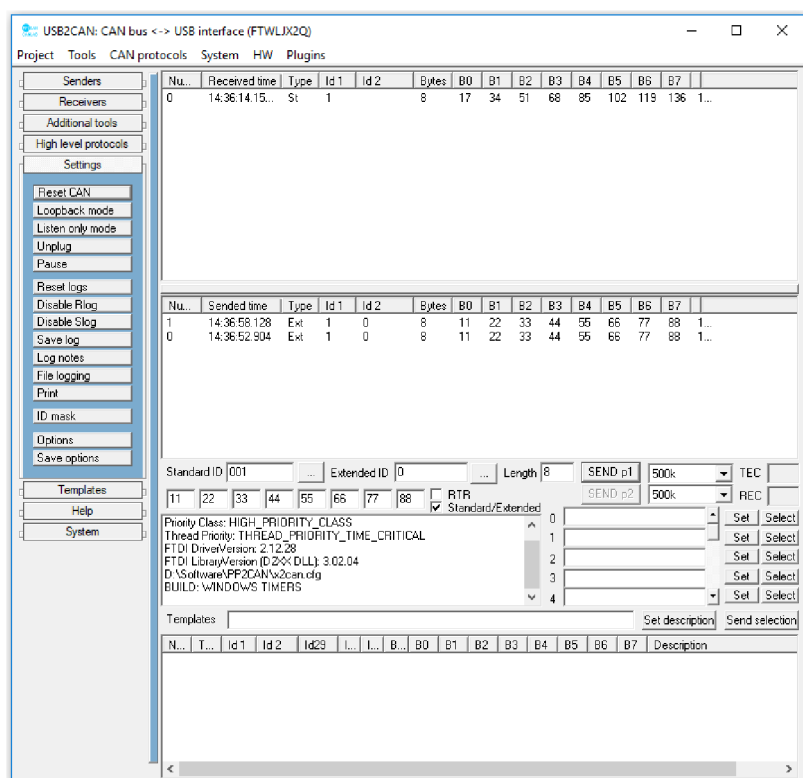
**Obr. 3-8 Základní nastavení sběrnice CAN**

Přijímat zprávy z komunikační sběrnice je umožněno zadáním příkazu

```
pi@raspberrypi: ~ $ candump can0
```

Pro detekci zpráv a ověření funkčnosti na této sběrnici bylo použito zařízení USB2CAN – High speed revize 1.4 a jeho stejnojmenného obslužného programu. Jak je možné odhadnout z názvu zařízení, jde o připojení CAN sběrnice k počítači pomocí USB. V tomto zařízení je použitý obvod SJA1000, který zajišťuje převod dat z CAN sběrnice na počítačovou interferenci.

Diagnostický software sběrnice CAN je vybaven nástroji pro monitorování toku dat na sběrnici, odesílání zpráv nebo automatického generování těchto zpráv na sběrnici CAN. Periodu generování zpráv je možné zvolit od 1 ms do 65 s. Přijaté zprávy z CANu jsou v obvodu SJA1000 opatřeny časovým údajem, který přesně určuje, kdy byla zpráva přijata. Uživatelské rozhraní je zobrazeno na obr. 3-9. Je na nich zachycený případ z předchozího obrázku.



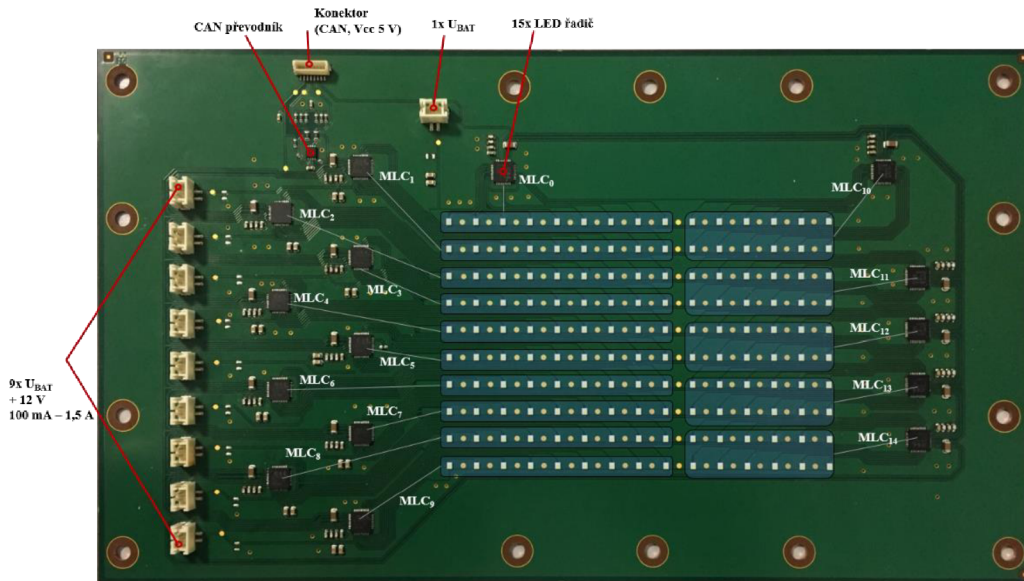
**Obr. 3-9 Uživatelské prostředí USB2CAN**

Pro zajištění permanentní konfigurace sběrnice CAN ihned po spuštění Raspberry Pi byly vloženy následující řádky do souboru: */etc/network/interfaces*

```
auto can0
iface can0 can static
bitrate 500000
```

### 3.5 LED panel

Pro zajištění dynamického podsvícení LCD displeje je použitý tzv. LED panel (viz obr. 3-10). Návrhu tohoto hardware se velmi podrobně zabýval ve své diplomové práci Jiří Prokš. Jedná se o desku plošných spojů, která je osazena celkem 150 vysoce svítivými LED bílé barvy. Jednotlivé LED jsou připojeny k jednomu výstupnímu kanálu celkem 15 LED řadičů. LED panel je ovládán řídicím modulem, který pomocí sériové komunikační sběrnice CAN rozesílá příkazy jednotlivým obvodům pro řízení LED.



**Obr. 3-10 Rozbor desky plošných spojů LED panelu**

Při návrhu desky plošných spojů byl brán ohled především na vysoké rozlišení. Tím je myšleno co největší koncentrace LED na určitou plochu. Při výběru vhodné LED byl brán ohled především na rozměry, velikost maximálního proudu a světelný tok. Tab. 3-4 porovnává základní parametry některých vhodných LED.

**Tab. 3-4 Porovnání parametrů vhodných LED [11]**

		Oslon Compact CL	Oslon Black Flat	Ostar Projection Compact
Rozměry	[mm x mm]	1,55 x 1,95	3,85 x 3,85	3,75 x 4
Světelný tok	[lm]	224 – 355	180 – 280	280 – 560
Běžný proud	[mA]	1000	700	1400
Prahové napětí	[V]	2,75 – 3,5	2,75 – 3,75	2,8 – 3,5
Pracovní teplota	[°C]	-40 – 125	-40 – 125	-40 – 125
Maximální teplota	[°C]	150	150	150

Jako nejvhodnější LED byla zvolena Oslon Compact CL. Její malé rozměry umožnili vytvořit matici o celkem 150 LED (10 x 15). Jednotlivé LED jsou připojeny k celkem 15 integrovaným obvodům, které umožňují pomocí PWM signálu řídit jas každé LED nezávisle na sobě. Více o tomto řízení je pojednáno v kapitole 3.5.1.

Jelikož se jedná o výkonové LED, které jsou umístěny blízko sebe, bylo třeba brát ohled na tepelné zatížení základního materiálu. Pro dobrý odvod tepla byl zvolen jako základní materiál jednostranně plátovaný měděný substrát. Pod tento substrát byly navíc zajištěny hliníkové chladiče.

Výroba desky plošných spojů proběhla v externí firmě. Osazení bylo provedeno v prototypové dílně ve firmě pomocí osazovacího automatu. Pro proces pájení byla použita bezolovnatá pájecí pasta, která byla nanášena metodou šablonového tisku. Vhodná technologie musela být vhodně zvolena především s ohledem na větší rozměry DPS a její základní materiál. Nakonec byla použita metoda pájení v parách. Tato technologie zajistí rovnoměrné prohřátí celé DPS a vytvoří tak kvalitní pájený spoj. Při použití konvenční technologie pájení přetavením by nemuselo dojít k dostatečnému prohřátí DPS. Při technologii pájením v parách je přenos tepla zajištěn parami kapaliny Galdenu, jejíž páry dosahují teploty 230 °C [11].

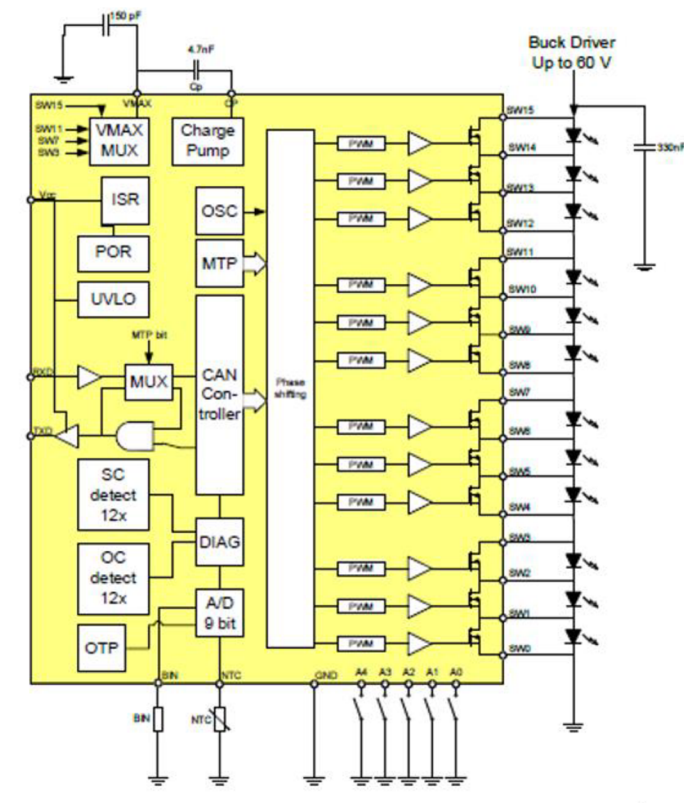
V následující tabulce jsou porovnány technologické parametry výsledné desky plošných spojů:

**Tab. 3-5 Technologické parametry LED panelu [11]**

Parametr	Jednotky	
Rozměr DPS	[mm x mm]	275 x 157
Základní materiál		IMS-Cu
Počet vrstev		1
Tloušťka základního materiálu	[mm]	2
Tloušťka plátované mědi	[ $\mu$ m]	35
Tloušťka galvanické mědi	[ $\mu$ m]	15
Výsledná tloušťka DPS	[mm]	2,15
Minimální vzdálenost vodič/mezera	[mm]	0,2
Průměr via	[mm]	0,8
Průměr montážních děr	[mm]	4,5
Povrchová úprava		Imerzní cín
Barva nepájivé masky		Zelená

### 3.5.1 LED kontrolér

Pro řízení jednotlivých LED diod je použitý obvod ASL5015SN. Je to flexibilní ovladač Matrix Led Controller (MLC). Tento obvod se používá především pro moderní automobilové osvětlení. Blokový diagram je znázorněn na obr. 3-11. MLC poskytuje individuální řízení LED v konfiguraci matice. Prostřednictvím tohoto individuálního řízení LED, může být osvětlovací systém automobilu konfigurován pro různé pokročilé funkce. Těmi funkcemi mohou být například adaptivní světlomety (Adaptive Driving Beam), dálkové světlomety bez oslnování (Glare Free High Beam), dynamické signální osvětlení nebo progresivní brzdné signály.



Obr. 3-11 Blokový diagram LED kontroléru ASL5015SN [12]

MLC má integrovaných 12 výstupních spínačů, konfigurované do celkem 4 bloků po 3 přepínačích. Každý individuální integrovaný spínač může být zapojen paralelně s jednotlivými LED, aby umožnil jejich individuální řízení, nebo pro řízení více LED může být zapojen celý řetězec. Každý blok spínačů je schopen dodávat napětí 60 V. Vnitřní spínače jsou dimenzovány tak, aby umožnili řízení 12 LED s proudem až 1,5 A. Jednotlivé bloky je možné zapojit paralelně pro získání proudu vyššího než 1,5 A.

Tento LED kontrolér má integrovanou funkci generování PWM signálu. Interně generovaný duty cycle (pracovní cyklus) PWM má rozlišení 12 bitů s frekvencí PWM

buď 244 Hz nebo 488 Hz. PWM signál je určován z informací uložených v paměti MTP (Multiple Time Programmable) v MLC ve formě stmívacích koeficientů polynomiálních křivek.

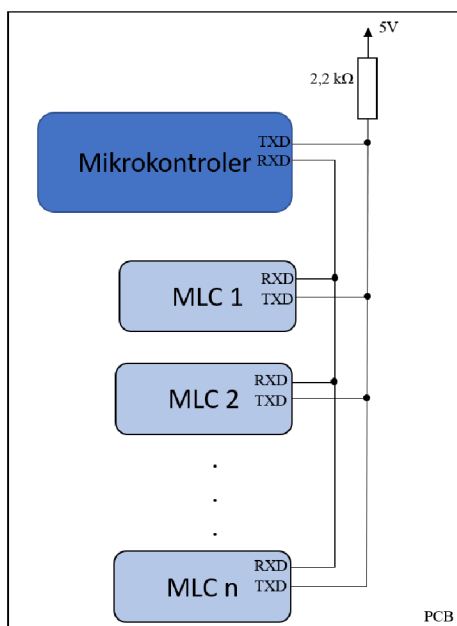
MLC obsahuje také mnoho diagnostických funkcí:

1. Zpětná vazba NTC (Negative Temperature Coefficient) termistoru pro monitorování teploty LED – Teplota je měřena v rozmezí od 70 °C do 130 °C s přesností více než 5 °C.
2. Jednotlivá detekce LED diod
3. Připojení binovacího rezistoru

MLC je řízen pomocí sériové komunikační sběrnice CAN. Pomocí této sběrnice je možné ovládat až 35 LED kontrolérů. Kontrolér obsahuje interní 200 MHz oscilátor pro synchronizaci a generování CLK signálu.

Zapojení sběrnice CAN může být realizováno dvěma způsoby:

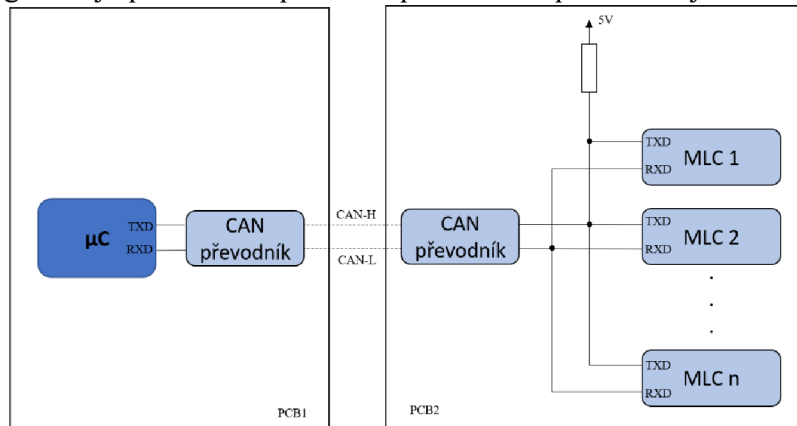
1. Nachází-li se LED kontrolér ASL5015SN na stejném PCB jako mikrokontroler, můžeme použít následující zapojení:



**Obr. 3-12 Zapojení CAN sběrnice, MLC a  $\mu$ C na stejném PCB**

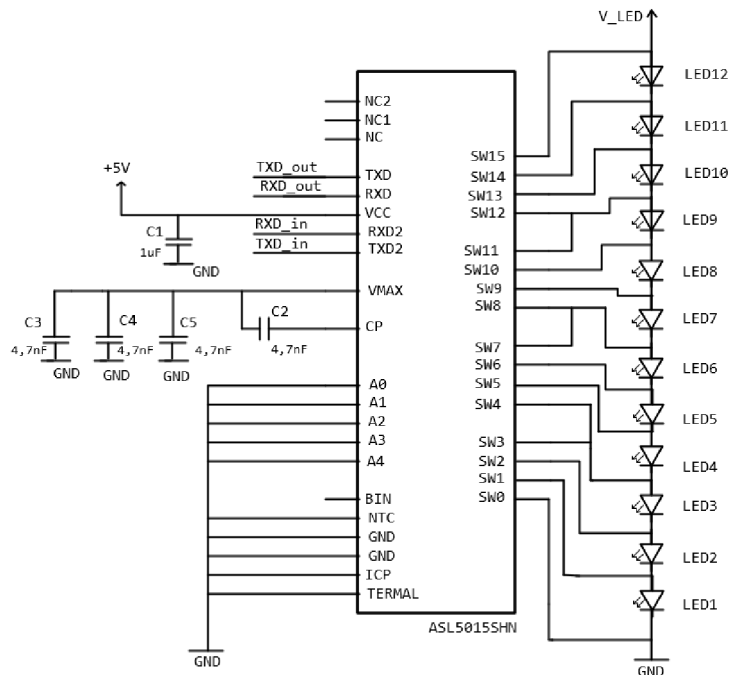
Na tomto zapojení mohou být přímo propojeny piny TX a RX

2. Pokud se nachází mikrokontroler na jiné desce plošných spojů, nebo je vzdálený více jak 10 cm od MLC, je potřeba zařadit do zapojení tzv. CAN převodník. Tato konfigurace je použita v diplomové práci. CAN převodník je obvod TJA1050.



**Obr. 3-13 Zapojení CAN sběrnice, MLC a µC na odlišné PCB**

V této konfiguraci je hodinový signál, generovaný vnitřním oscilátorem, rozdělen adaptivní děličkou pro kalibraci hodin pro příchozí data. Tím se zajistí společná rychlost komunikace, která byla zvolena 500 Mbit/s. Komunikační protokol CAN je bytově orientovaný. První byte obsahuje adresu MLC. Adresa každého MLC je originální, aby bylo možné přesně určit, se kterým zařízením bude po CAN komunikováno. Je dána HW zapojením adresových pinů A0 – A5. Pro získání logické 0, je pin připojen na GND, a pro logickou 1 zůstává pin nezapojený. Příklad zapojení LED kontroléru s adresou 00000 je znázorněno na obr. 3-14.



**Obr. 3-14 Zapojení LED kontroléru s adresou (00000)**

**Tab. 3-6 Adresy jednotlivých LED řadičů**

ASL5015SHN	ozn. ve schématu	Adresové piny					hex
		A4	A3	A2	A1	A0	
LED kontrolér 0	IC0	0	0	0	0	0	0x00
LED kontrolér 1	IC1	0	0	0	0	1	0x01
LED kontrolér 2	IC2	0	0	0	1	0	0x02
LED kontrolér 3	IC3	0	0	0	1	1	0x03
LED kontrolér 4	IC4	0	0	1	0	0	0x04
LED kontrolér 5	IC5	0	0	1	0	1	0x05
LED kontrolér 6	IC6	0	0	1	1	0	0x06
LED kontrolér 7	IC7	0	0	1	1	1	0x07
LED kontrolér 8	IC8	0	1	0	0	0	0x08
LED kontrolér 9	IC9	0	1	0	0	1	0x09
LED kontrolér 10	IC10	0	1	0	1	0	0x0A
LED kontrolér 11	IC11	0	1	0	1	1	0x0B
LED kontrolér 12	IC12	0	1	1	0	0	0xC
LED kontrolér 13	IC13	0	1	1	0	1	0xD
LED kontrolér 14	IC14	0	1	0	1	1	0x0B

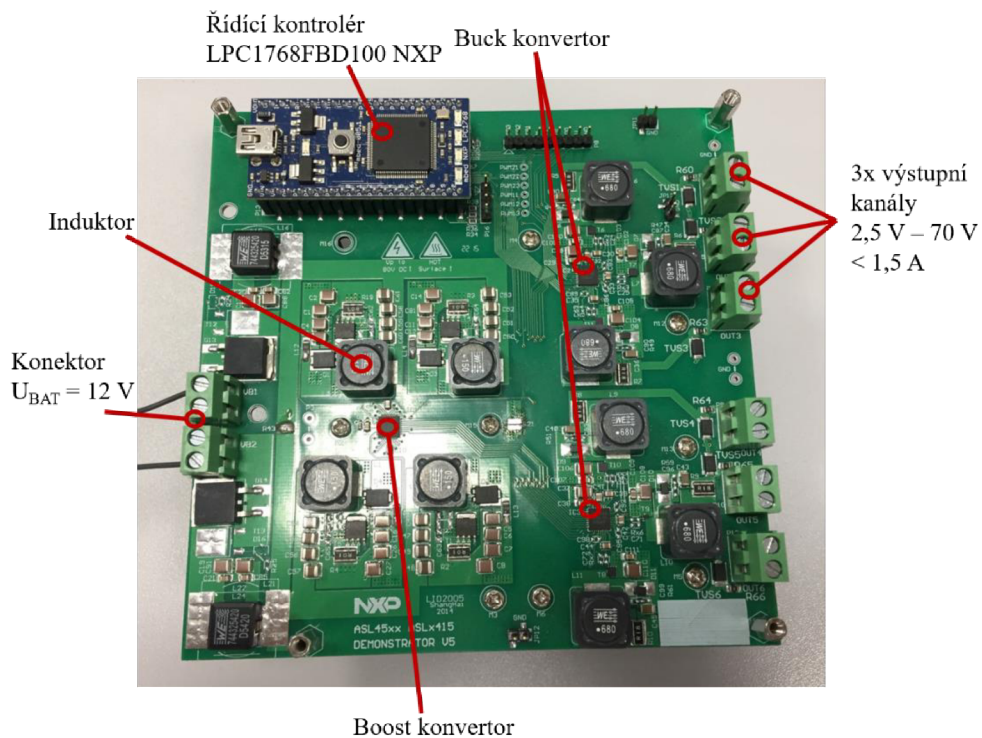
Jednotlivé adresy LED řadičů jsou uvedeny v tab. 3-6. Tyto adresy byly určeny dle schématu, které bylo vytvořeno Jiřím Prokšem v rámci jeho diplomové práce na téma: Zákaznický upravitelný modul zadní skupinové svítilny s HD rozlišením.

### 3.5.2 Napájení LED matice

Původně bylo pro napájení systému zvoleno zařízení NXP Multi Channel Automotive LED drivers neboli tzv Buck-boost konvertor, který má velikost výstupního napětí větší nebo menší než napětí vstupní (viz obr 3.15).

Tento zdroj konstantního proudu od firmy NXP umožňuje dosáhnout až 1,5 A výstupního proudu pro napájení LED řetězce, nebo přímo LED matice. Výstupní proud je dán nahráním jistého bin souboru do řídicího mikrokontroleru na zdroji. Výstupní napětí může dosahovat hodnot v rozsahu od 2,5 V až do 70 V. Zdroj má celkem 6 výstupních kanálů. LED panel obsahuje celkem 10 konektorů pro připojení napájení LED řetězců, kde každý řetězec obsahuje celkem 15 LED. Při použití tohoto zdroje by byly 4 konektory nezapojené, proto se od této možnosti napájení ustoupilo.





**Obr. 3-15 Zdroj konstantního proudu od firmy NXP**

K napájení LED matice jsou použity dvě řídicí jednotky světlometu Audi LMS. Každá z těchto řídicích jednotek obsahuje vedle podpory sběrnice CAN, LIN, také celkem 8 výstupních kanálů, které je možné nakonfigurovat v tzv. datasetech. Jedná se o excelový soubor, ve kterém se nastavují výstupní parametry jednotlivých kanálů a spoustu dalších. Pro testovací účely byl zvolen výstupní proud jednotlivých kanálů 100 mA. Při tomto nastavení byl proudový odběr všech 10 řetězců 4 A při napětí 12 V. Celkový výkon je tedy dle následující rovnice 48 W:

$$P = U * I = 12 * 4 = 48 \text{ W} \quad (3.1)$$

### 3.6 Použitý displej z tekutého krystalu

Pro účel zobrazování animovaných světelných funkcí byl zvolen 7“ TFT displej. Jeho subpixely jsou uspořádány v RGB sekvenci, tudíž je možné animace přehrávat v libovolných barvách. Pro odbočovací světelný signál je zvolena oranžová barva a pro brzdový signál barva červená. Jako zdroj podsvícení u tohoto LCD byly původně použity 4 x 3 LED vedených po dvou stranách LCD. Jejich světelný výstup byl následně homogenně rozprostřen po celé aktivní oblasti displeje. Tato forma podsvícení je nahrazena LED panelem.

LCD je podporován rozhraním LVDS (Low – Voltage differential signaling). Jedná se o standard, který byl vyvinut především pro umožnění rychlého přenosu dat uvnitř systému. Základem pro přenos dat je pár vodičů z Cu zakroucených vzájemně do sebe, po kterých se přenáší nízkonapěťové signály. Nízkonapěťové signály dosahují hodnot okolo 1,2 V. Tímto je dosažena energetická nenáročnost procesu, a zároveň se minimalizuje nechtěné elektromagnetické záření při přenosu [13]. LVDS je díky tomu také odolnější proti vnějšímu rušení. Na jedné straně se nachází vysílač, který zajišťuje generaci signálů a na druhé straně je připojen přijímač, který tyto signály dekóduje. Přijímač rozezná signály již o napětí cca 20 mV. Tento signál poté zesílí na typickou úroveň.

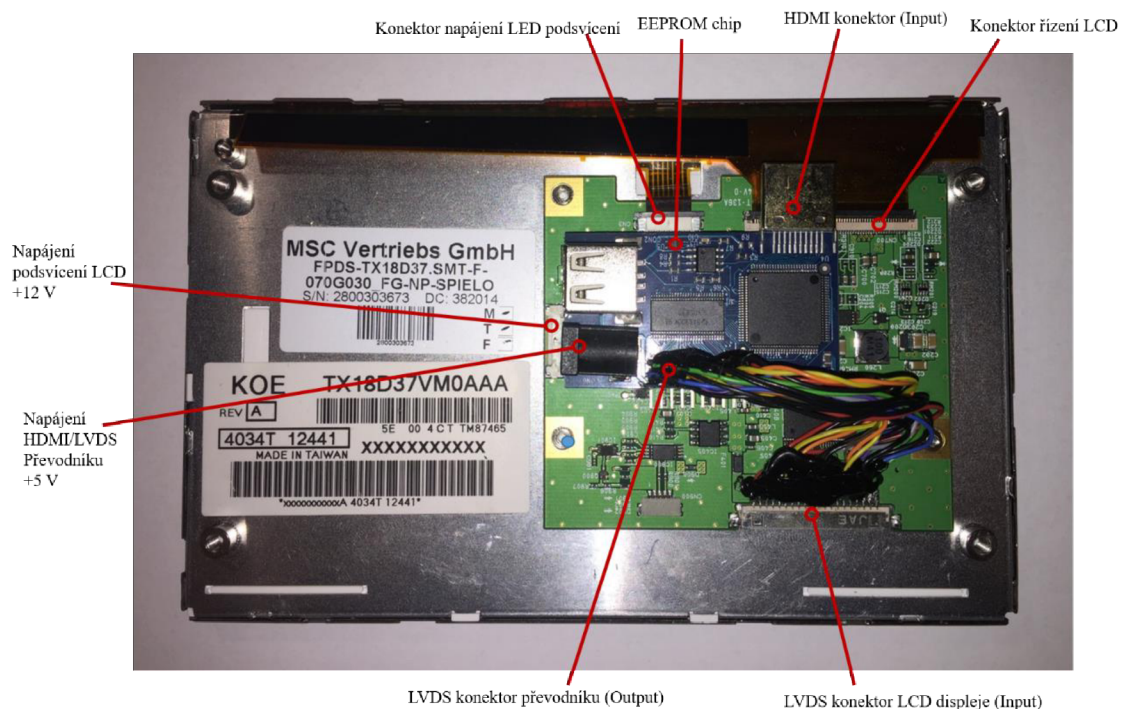
Raspberry Pi 3 má však podporu pouze displeje s připojením pomocí DSI konektoru, nebo konektoru HDMI. Tento problém byl vyřešen zapojením mezi konektor HDMI a displej převodník HDMI/LVDS. Do převodníku je z HDMI konektoru Raspberry Pi přivedený signál klasickým HDMI kabelem (samec → samice). Po tomto propojení je také vedena komunikace I2C, pomocí které je možné programovat mikrokontroler na převodníku. Tento regulátor poskytuje informaci o tzv. EDID datech. EDID (Extended Display Identification Data) je v překladu rozšířená identifikace displeje, a jedná se o datovou strukturu poskytovanou LCD displejem, která popisuje jeho možnosti a podporované rozlišení. EDID data o použitém LCD jsou uložena v EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) paměti mikrokontroléru na převodníku HDMI/LVDS. EDID data byly vygenerovány, do souboru s příponou bin, příslušným programem po zadání veškerých dostupných informací o tomto LCD (viz obr. 3-16).

**Tab. 3-7 Zapojení 20pinového LVDS konektoru LCD**

Pin	Značka	Pin	Značka	Pin	Značka	Pin	Značka
1	Vcc	6	IN0+	11	IN2-	16	GND
2	Vcc	7	GND	12	IN2+	17	IN3-
3	GND	8	IN1-	13	GND	18	IN3+
4	GND	9	IN1+	14	CLK IN-	19	GND
5	IN0-	10	GND	15	CLK IN+	20	DIM

Zvolený LCD používá 20 pinový konektor pro LVDS komunikaci (viz tab. 3-7). Z tohoto konektoru vede kromě napájecího a zemního vodiče také 8 datových vodičů a jeden pár vodičů starající se o přenos hodinového signálu. Délka vodičů byla volena co nejkratší, aby se zamezilo vzniku přeslechů při přenosu dat. Proto byl převodník HDMI/LVDS umístěn co nejbližší řídicí desky plošných spojů displeje. Na následujícím

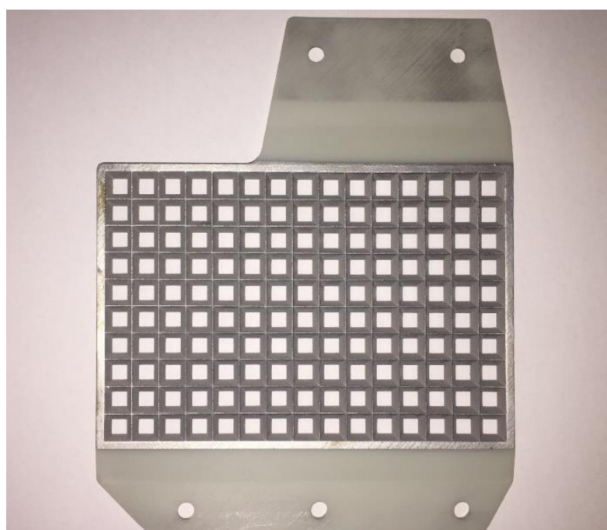
obrázku je popsána zadní strana LCD displeje s izolačně odděleným HDMI/LVDS převodníkem.



**Obr. 3-16 Zadní strana LCD s HDMI/LVDS převodníkem**

### 3.7 Vedení světla

Světelný tok cca 260 lm (při 1000 mA) z celkem 150 ThinGaN LED, je usměrněn polem reflektorů (viz obr. 3-17). Pole reflektorů bylo zkonstruováno přesně na rozměry LED matice pro lepší koncentraci světelného toku pro podsvícení LCD panelu. Pro výrobu byl použitý 3D tisk. Výrobním materiálem byl plast. Ten však nemá požadovanou odrazivost, a proto byla provedena povrchová úprava tohoto materiálu.



**Obr. 3-17 Pokovené pole reflektorů**

Pro zlepšení odrazivosti reflektorů, byla na plastový podklad nanášena vrstva hliníku metodou vakuového napařování. Technologie vakuového napařování byla provedena v laboratorních prostorách školy VUT.

Metoda spočívá v odpařování materiálu (v tomto případě hliníku) v evakuovaném prostoru. Odpařování materiálu bylo zajištěno průchodem elektrického proudu drátkem, na kterém byl navinut požadovaný materiál. Tlak v recipientu byl okolo  $5,0 \cdot 10^{-3}$  Pa. Pro vyčerpání prostoru na tento tlak byla použita turbomolekulární vývěva. Proces čerpání byl podpořen nejdříve zahřátím pracovního zvonu, ve kterém se nacházel vzorek, a následným zchlazením, kdy mělo dojít k rychlejšímu poklesu tlaku v pracovním prostoru z důvodu srážení vzduchových částic.

### 3.8 Funkční bezpečnost

V automobilovém průmyslu se vynakládá maximální úsilí za účelem zajištění bezpečnosti a zvýšení komfortu provozovatelů automobilů. Navrhují se stále složitější a sofistikovanější systémy jako například adaptivní automatizované světlomety nebo různé inteligentní podpory řízení. Pokud by došlo k selhání některého z těchto systémů, mohlo by to zapříčinit ohrožení bezpečnosti osob nejen uvnitř vozidla, ale také osob v blízkém okolí [18].

Možnosti, jak se vyvarovat nečekaným a nebezpečným situacím je, aby vývojový proces produktu, ať už samotného finálního, nebo jen části dodržoval procesy kompatibilní s normou ISO 26262. V dnešní době téměř všichni výrobci automobilů tento přístup požadují.

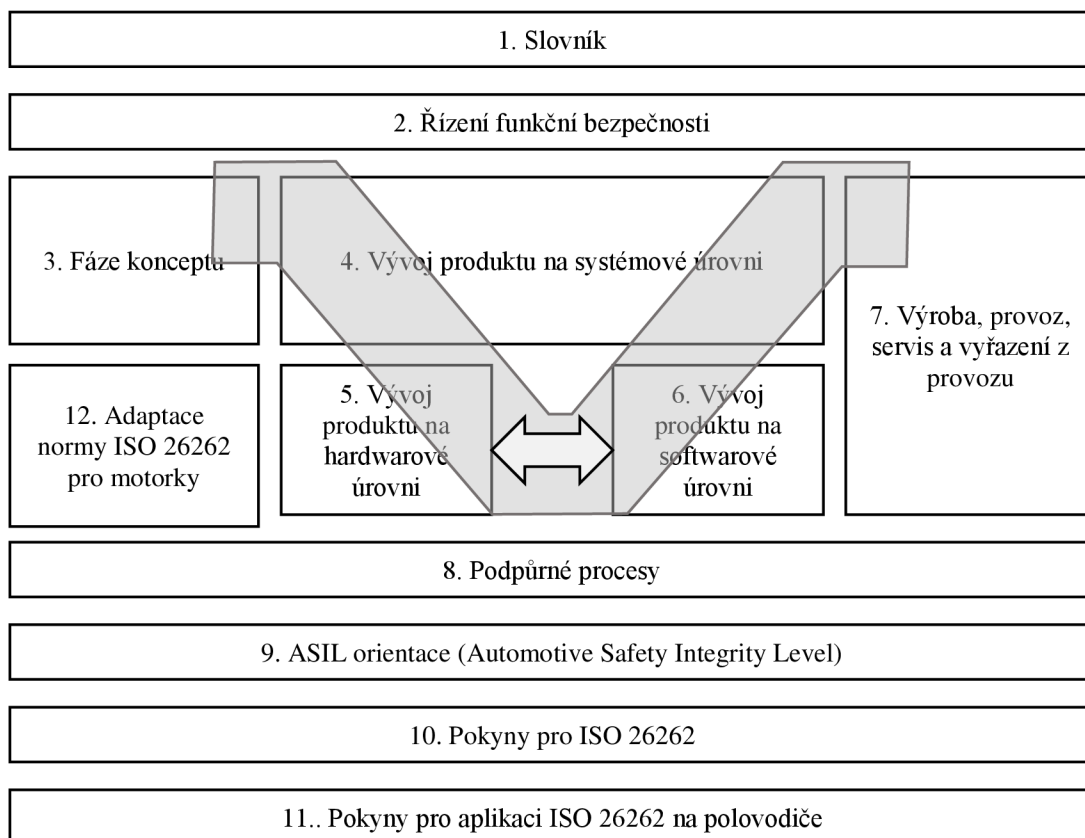
Za posledních pár desítek let se velmi zvýšila složitost elektronických a elektrických systémů, které se používají ve vozidlech. Automobily vyráběné dříve byly vybaveny jen několika elektronickými moduly. Byly to například moduly posilovače řízení, palivové soustavy. Modernější automobily obsahují více elektronických modulů. Jedná se například o systémy nouzového brždění, adaptivní pérování, sledování mrtvého úhlu a další... Tyto systémy zaručují bezpečnější a také pohodlnější jízdu. Jednotlivé elektronické prvky jsou vzájemně spojeny a vyměňují si mezi sebou informace z různých snímačů a podle toho předávají informace dalším elektronickým modulům.

Čím složitější soustava, tím více je náchylná k různým poruchám, které mohou být způsobeny vadami zařízení, chybou v softwaru nebo poškozením zařízení. Některá z těchto poruch může vést k vážnému ohrožení. Například: při jízdě v noci v důsledku selhání software může dojít k neočekávanému vypnutí světlometů, nebo při aktivaci pravého směrového světla může opět v důsledku selhání software dojít k aktivaci levého směrového světla, dalším nebezpečným případem v oblasti automobilového osvětlení je ztráta brzdového světla. Tyto situace ohrožují život a bezpečnost osob sedících ve vozidle

nebo v jeho blízkosti. Jedním z předních příkladů, kde nebyl kladen dostatečný důraz na funkční bezpečnost při vývoji produktu je Japonská firma Takata. Jednalo se o firmu dodávající airbagové systémy do automobilů. Problém byl v nafukovačích airbagů, které při aktivaci mohou prasknout a roztříštit části kovu do vozu. Kvůli této poruše nafukovačů přišlo o život několik řidičů.

Právě z důvodu zabránit všem případům tohoto druhu, vynakládají výrobci automobilů velké úsilí na zajištění bezpečnosti a ochrany životů. Bezpečnost musí být základem funkčnosti vozidla již od začátku provozu, bez ohledu na důvody.

Řešením problematiky bezpečnosti v automobilovém průmyslu je norma ISO 26262. Její struktura je znázorněna na obr. 3-18. Tato norma pokrývá z oblasti bezpečnosti návrh, vývoj a výrobu produktů. Dosažením shody s požadavky s normou ISO 26262 je proces schopný minimalizovat všechny nežádoucí rizika. V dnešní době bez certifikovaného systému funkční bezpečnosti podle normy ISO 26262 je téměř nemožné dodávat automobilové komponenty jednotlivým značkám.



**Obr. 3-18** Struktura normy ISO 26262

Základní myšlenka funkční bezpečnosti je, že pokud selže některá z komponent, nesmí toto selhání způsobit ohrožení řidiče a osob v blízkém okolí. Tato nesprávná funkce musí být kontrolovatelná řidičem, který dokáže udržet kontrolu nad neočekávanou situací. Základem je identifikovat riziko, poté se určí požadované opatření a úkony, které jsou založené na stupni klasifikace ASIL (Automotive Safety Integrity Level) každého komponentu. Významnost komponenty pro bezpečnost je značena písmeny A-D, kde D je nejvyšší požadovaná bezpečnost. Jednotlivé úrovně bezpečnosti se stanovují na základě tabulky dopadů hrozeb, viz následující tabulka [19].

**Tab. 3-8 Tabulka dopadů hrozeb**

Dopad hrozby	
Nehrozí úraz	S0
Hrozba lehkého až středního úrazu	S1
Hrozba závažného nebo život ohrožujícího selhání, přežití pravděpodobné	S2
Život ohrožující, zranění s nejistým přežitím, hrozba smrti	S3

Dále se stanovuje pravděpodobnost výskytu události, která je znázorněna v tab. 3-9.

**Tab. 3-9 Tabulka pravděpodobností události**

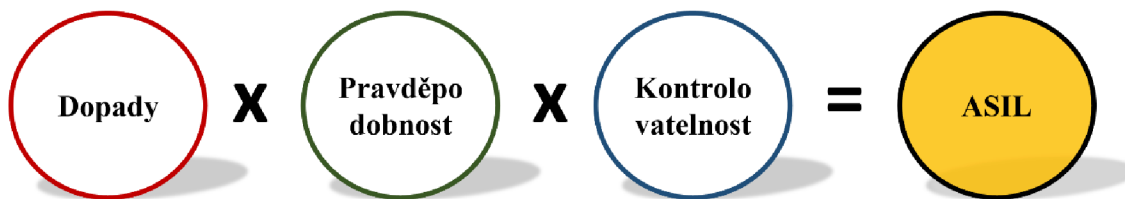
Pravděpodobnost události	
Nepřichází v úvahu / nereálné	E0
Velmi nízká pravděpodobnost	E1
Nízká pravděpodobnost	E2
Střední pravděpodobnost	E3
Vysoká pravděpodobnost	E4

Další hodnotou, která se stanovuje při určování úrovně bezpečnosti je určení, jak schopný je řidič kontrolovat danou situaci. Viz následující tabulka.

**Tab. 3-10 Tabulka schopnosti řidiče situaci kontrolovat**

Možnost řidiče situaci kontrolovat	
Kontrolovatelné	C0
Snadno kontrolovatelné	C1
Běžně kontrolovatelné	C2
Obtížně kontrolovatelné / bez možnosti situaci kontrolovat	C3

Na obr. 3-19 je graficky uvedeno, jak dochází k vyhodnocování ASIL klasifikace.



**Obr. 3-19 ASIL klasifikace**

V následující tabulce je znázorněno stanovení bezpečnostní funkce.

**Tab. 3-11 Stanovení bezpečnostní funkce [19]**

		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	A
	E4	QM	A	B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	A
	E3	QM	A	B
	E4	A	B	C
S3	E1	QM	QM	A
	E2	QM	A	B
	E3	A	B	C
	E4	B	C	D

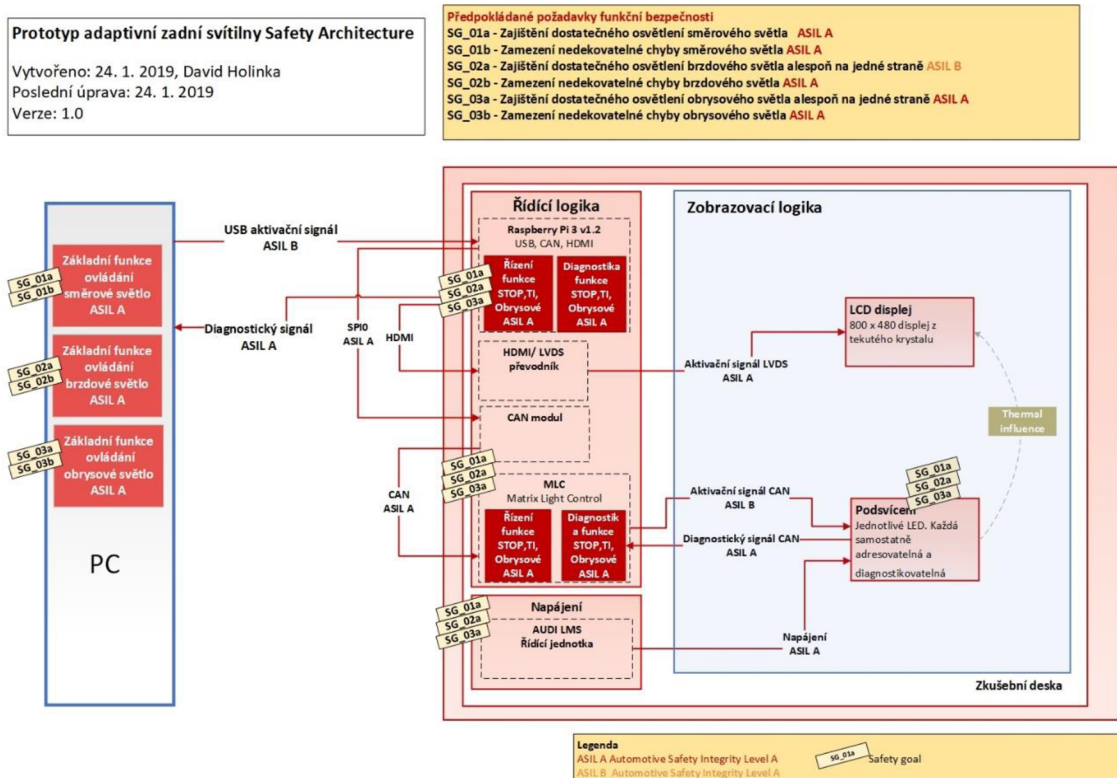
Návrh a zavedení systému funkční bezpečnosti do již existujícího procesu v organizaci, se výrazně neliší od zavádění jiných systémů. Postup je podobný jako například při zavádění systému řízení jakosti podle normy ISO 9001 a pro společnost s dostatečnou procesní zralostí to nejsou žádné dodatečné náklady.

### 3.8.1 Požadavky na funkční bezpečnost

Požadavky na funkční bezpečnost a jejich ASIL klasifikace jsou

- SG1a\_Zajištění dostatečného osvětlení směrového světla ASIL A
- SG1b\_Zamezení nedetekovatelné chyby směrového světla ASIL A
- SG2a\_Zajištění dostatečného osvětlení brzdového světla alespoň na jedné straně ASIL B
- SG2b\_Zamezení nedetekovatelné chyby brzdového světla ASIL A
- SG3a\_Zajištění dostatečného osvětlení obrysového světla alespoň na jedné straně ASIL A
- SG3b\_Zamezení nedetekovatelné chyby obrysového světla ASIL A

Na následujícím obrázku jsou výše zmiňované požadavky na funkční bezpečnost rozkresleny do tzv. architektury funkční bezpečnosti. Tato architektura se provádí z důvodu lepšího pochopení, co který funkční požadavek (Safety Goal) představuje a s čím je vázán. Jaký má vliv na ostatní požadavky atp.



**Obr. 3-20 Architektura funkční bezpečnosti**

Architektura funkční bezpečnosti zobrazuje v levé části jednotlivé funkce zadní světliny automobilu a k nim odpovídající požadavky funkční bezpečnosti včetně jejich přiřazených bezpečnostních úrovní. K bloku řídicí logiky směřuje USB aktivační signál. Signál je přiveden na řídicí modul systému Raspberry Pi 3, který řídí všechny 3 funkce: brzdová funkce světliny, směrové a obrysové světlo. Od této řídicí logiky je zpět k počítačové aplikaci vedena diagnostická větev v úrovni bezpečnosti ASIL B, opět pro každou světelnou funkci.

V této architektuře je také v zobrazovací části uveden termální vliv jednotlivých komponent. Vysoce svítivé LED mohou teplotně ovlivnit (zahřívají) LCD. Proto je nutné s tímto vlivem počítat a provést jistá preventivní opatření, aby nebyla narušena správnost funkce.



### 3.9 Software

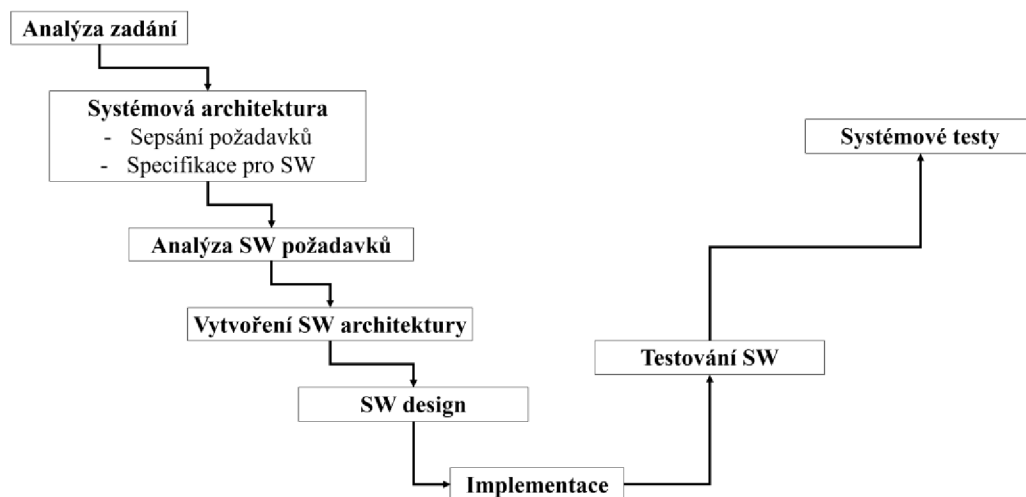
Vedle požadavků na funkční bezpečnost, byly vytvořeny základní systémové požadavky, které definují funkčnost celého systému. Podle těchto systémových požadavků byl systém navržen a postupně vyvíjen.

#### Systémové požadavky:

- SYSR\_1 → Zobrazení rozdílné světelné funkce automobilového osvětlení (STOP, TI, PO)
- SYSR\_2 → Zobrazení obrázců na LCD displeji v různých barvách
- SYSR\_3 → Dynamické podsvícení obrázců zobrazované na LCD displeji
- SYSR\_4 → Volitelně programovatelný obrazec
- SYSR\_5 → Ovládání pomocí počítačové aplikace
- SYSR\_6 → Možnost uložení navrženého obrazce
- SYSR\_7 → Možnost použití obrazce navrženého mimo ovládací aplikaci

Při vývoji software pro velké a komplexní systémy, jako je například vývoj svítilen do automobilů, se postupuje dle následujícího diagramu. Obdobným způsobem bylo postupováno při vývoji software v této diplomové práci.

### VÝVOJ SW

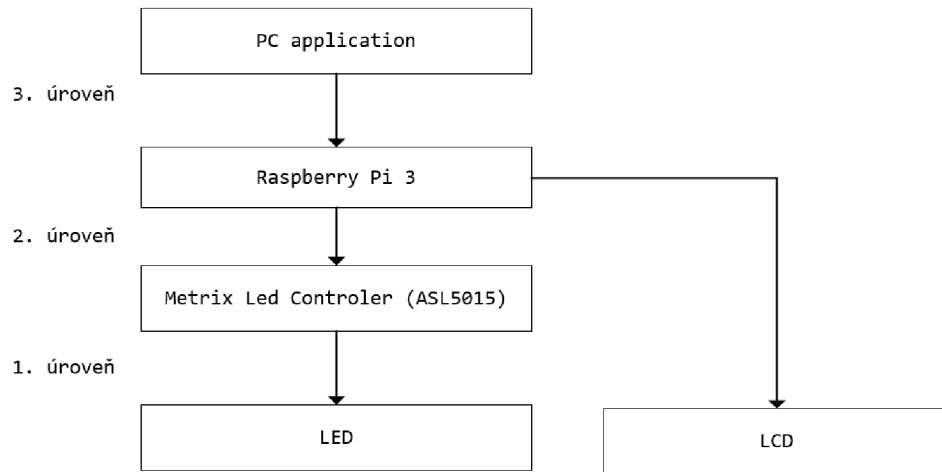


Obr. 3-21 Vývojový diagram software

V první fázi vývoje se analyzuje komplexní zadání a jsou zjišťovány co nejpodrobnější informace o vyvíjeném systému. Následně je vytvořena systémová architektura (viz obr. 3-1), ze které je zřejmá celková funkčnost a specifikují se požadavky na systém. Po důkladné analýze softwarových požadavků se vytvoří

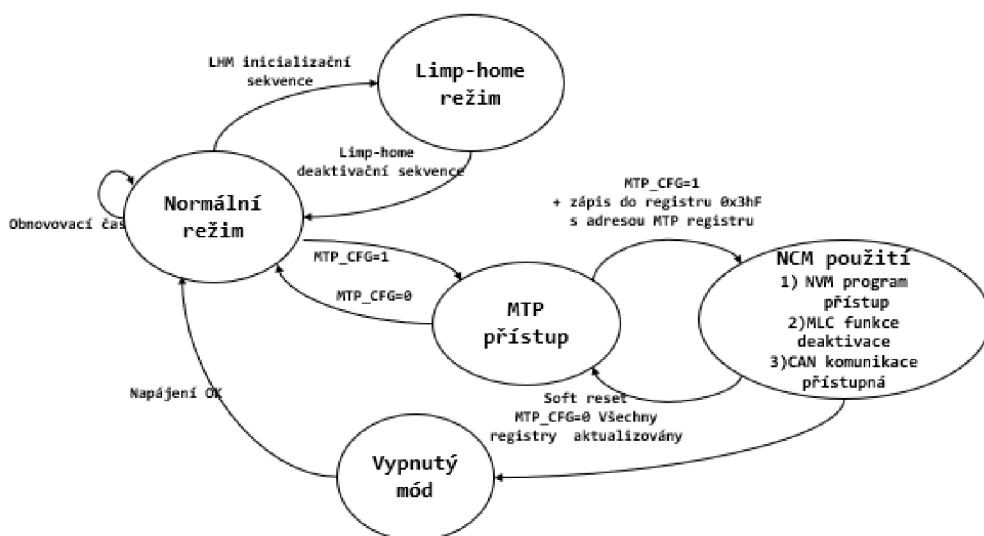
softwarová architektura. Tato architektura je tvořena jednotlivými funkčními bloky programu, aby bylo zřetelné že se dosáhlo analyzovaných požadavků. Po softwarovém designu proběhla implementace a následné ověření jednotlivých požadavků.

V programu Microsoft Visio 2016 byla vytvořena softwarová architektura, která znázorňuje kompletní chování systému z hlediska softwaru (viz obr. 3-22). Pro tuto práci je rozdělena do několika úrovní.



**Obr. 3-22** Softwarové úrovně

Software 1. úrovně je zaměřený na funkčnost led kontroléru obvodu ASL5015SHN od výrobce NXP, jehož pracovní diagram je znázorněn na obr. 3-23. Obecně o tomto zařízení je pojednáno v kapitole 3.5.1.



**Obr. 3-23** Pracovní diagram ASL5105SHN

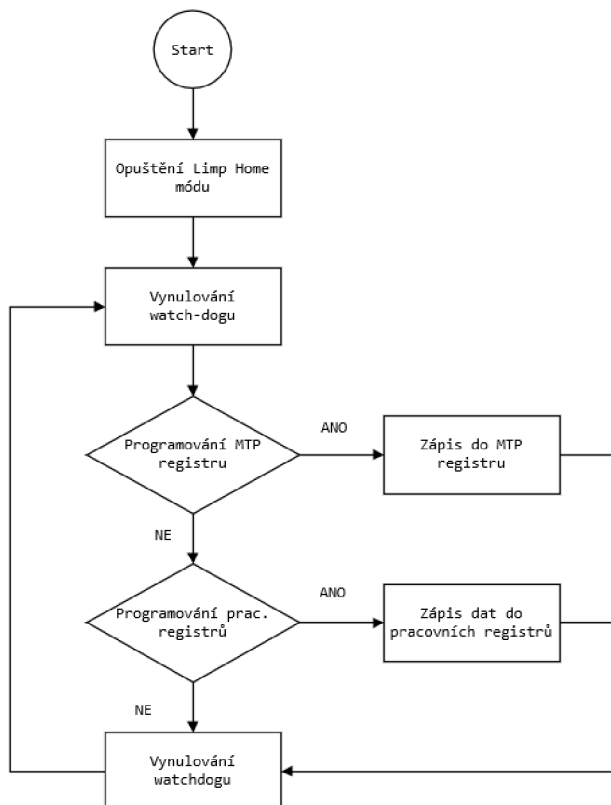
Tento kontrolér se označuje jako tzv. „smart“. Jelikož oproti obvodům například ASL5115SHN pro nastavení výstupu na jednotlivých kanálech využívá polygonálních křivek. Způsob ovládání výstupů pomocí křivek, dodává možnost využít jejich sklonů, a tak docílit například k plynulému postupnému rozsvícení LED.

Pro komunikaci s LED kontrolérem je použita sériová komunikační sběrnice CAN s rychlostí přenosu 500 kbits/s. Formát datového rámce je zobrazen v tab. 3-12. V CAN zprávě je použit rozšířený identifikátor. Tento identifikátor obsahuje celkem 29 bitů a jsou v něm obsaženy informace o adrese led kontroléru a čísla příkazu. Za tímto identifikátorem následují data.

**Tab. 3-12 Rozšířený identifikátor CAN zprávy**

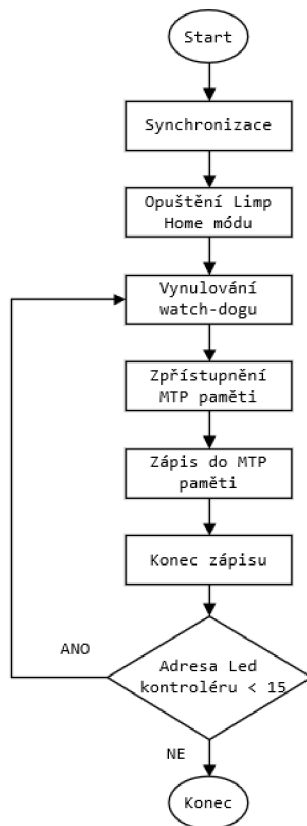
28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17-11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Standard ID											Rozšířený ID												
<i>fixní hodnota</i>											Reserved	Příkaz						MLC adresa					
<i>fixní hodnota</i>											<i>fixní h.</i>	5	4	3	2	1	0	4	3	2	1	0	
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Při počáteční inicializaci se led kontrolér spustí do tzv. Limp-home módu. V tomto módu jsou všechny jeho výstupy nastaveny na hodnotu PWM 0 %. Na obr. 3-24 je znázorněn diagram programování registrů obvodu ASL5015SHN.



**Obr. 3-24 Diagram programování registrů obvodu ASL5015SHN**

Změna nastavení chování v Limp-home módu se provádí zápisem do MTP (Multi Time Programmable) registru, dle následujícího vývojového diagramu.



**Obr. 3-25** Vývojový diagram konfigurace MTP registru

K nastavení slouží následující sekvence zpráv.

V tab. 3-13 je znázorněna CAN zpráva, která se používá k synchronizaci. Obsahuje příkaz číslo 34 a žádnou adresu led kontroléru, jelikož je tato zpráva rozesílána broadcastově všem led kontrolérům. Tuto zprávu je doporučeno odeslat alespoň tři za sebou.

**Tab. 3-13** CAN zpráva: broadcastová synchronizace

CAN zpráva: broadcast_synchronization										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 3-14 obsahuje CAN zprávu, která zajistí přechod z LHM do normálního režimu. Ze kterého je možné programovat pracovní nebo MTP registry.

**Tab. 3-14 CAN zpráva: broadcastové opuštění limp home módu**

CAN zpráva: broadcast_LHM_exit										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	38	-	1E	2E	4E	-	-	-	-	-

Zpráva znázorněná v tab. 3-15 zajišťuje vynulování watchdog časovače. To se provádí proto, aby led kontrolér setrval v normální operačním režimu, a nepřešel zpět do LHM. Čas, za kterou přejde led kontrolér do LHM je defaultně nastavena na 576,7 ms.

**Tab. 3-15 CAN zpráva: broadcastové vynulování watchdog časovače**

CAN zpráva: refresh_watchdog_broadcast										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	37	-	7E	-	-	-	-	-	-	-

Tuto dobu lze zvolit a nakonfigurovat na hodnoty z následující tabulky.

**Tab. 3-16 Nastavení watchdog časovače**

č. nastavení	t [ms]
1	4,50
2	9,00
3	18,00
4	36,00
5	72,10
6	144,20
7	288,40
8	576,70

CAN zpráva z tab. 3-17 nese oprávnění k zápisu do MTP registrů. Je odesílána každému led kontroléru zvlášť dle jeho příslušné adresy.

**Tab. 3-17 CAN zpráva: přiřazení oprávnění k zápisu**

CAN zpráva: set_rights_to_write										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa <sub>(10)</sub>	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	1	0-14	34	8C	3C	7F	-	-	-	-

Zpráva obsahující správný formát pro zápis do MTP registru je znázorněna v tab. 3 – 18. Touto zprávou dojde k zápisu informace, o hodnotě PWM 0%, do paměti registru s adresou (58)<sub>16</sub>. Registr s touto adresou nese informace pouze o prvních třech výstupních kanálech led kontroléru, proto je nutné tuto zprávu poslat celkem 4x, pokaždé však s příslušnou adresou registru.

**Tab. 3-18 CAN zpráva: zápis do MTP registru**

CAN zpráva: write_to_MTP_register										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa <sub>(10)</sub>	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	14	0-14	58	10	-	-	-	-	-	-

Tab. 3-19 obsahuje adresy MTP registrů a jejich přiřazené výstupní kanály.

**Tab. 3-19 Adresy MTP registrů a jejich přiřazené výstupní kanály**

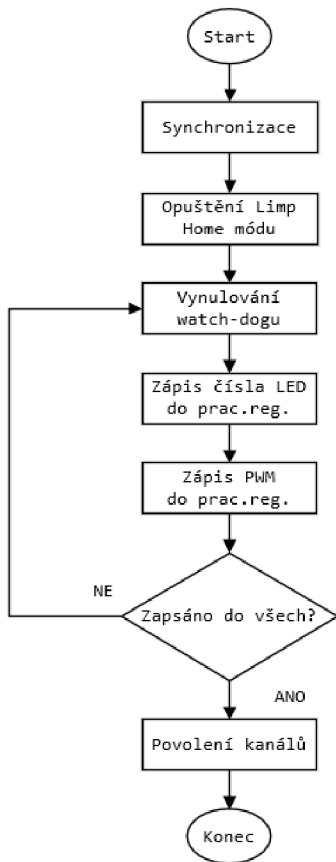
Adresa registru	Výstupní kanály
0x58	1 – 3
0x59	4 – 6
0x5A	7 – 9
0x5B	9 – 12

Na závěr zápisu do MTP registru je odeslána zpráva, která potvrdí zápis a uloží nově nakonfigurovaná data (viz tab. 3-20).

**Tab. 3-20 CAN zpráva: potvrzení zápisu do MTP registru**

CAN zpráva: exit_MTP_configuration										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa <sub>(10)</sub>	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	1	0-14	3C	7E	-	-	-	-	-	-

Pro řízení LED se využívá zápisu do pracovních registrů, jehož postup je zobrazen na blokovém diagramu obr. 3-26.



**Obr. 3-26** Blokový diagram pro zápis dat do pracovních registrů

Před zápisem do pracovních registrů, se postupuje stejným způsobem jako při konfiguraci MTP registrů. Nejdříve se provede synchronizace, následně se zašle CAN zpráva pro přechod z LHM do normálního režimu, ve kterém lze zapisovat do pracovních registrů. Struktura pracovních registrů je pro každý výstupní kanál led kontroléru stejná (viz tab. 3-21).

**Tab. 3-21** Struktura pracovního registru

ADDR	Registr	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Default
14h	CURVID1	SHIFT1[7:5]			AUTO1	NOW1	CURVEID1			00000000
15h	STARTPOS1	STARTPOS1								
16h	STOPPOS1	STOPPOS1								
17h	DELAY1	DELAY1								

*Vysvětlivky k tabulce:*

- **ADDR:** sloupec obsahuje adresy pracovních registrů, do kterých se zapisují data.
- **Registr:** název daného registru

- **SHIFTx**: 3 bity určující hodnotu posunu na křivce (001: nejnižší hodnota → bude provedena nejrychlejší křivka).
- **AUTOx**: hodnota nastavena do logické 0 pokud bude využita pouze 1 křivka
- **NOWx**: hodnota nastavena do logické 1, chceme-li provést změny ihned
- **CURVEIDx**: tyto 3 bity určují, která křivka bude použita
- **STARTPOSx**: startovací pozice křivky (0-255)
- **STOPPOS**: konečná pozice křivky (0-255)
- **DELAYx**: 8bitový registr je užíván pro nastavení zpoždění při sekvenci start

Pro zápis do pracovních registrů slouží následující CAN zpráva

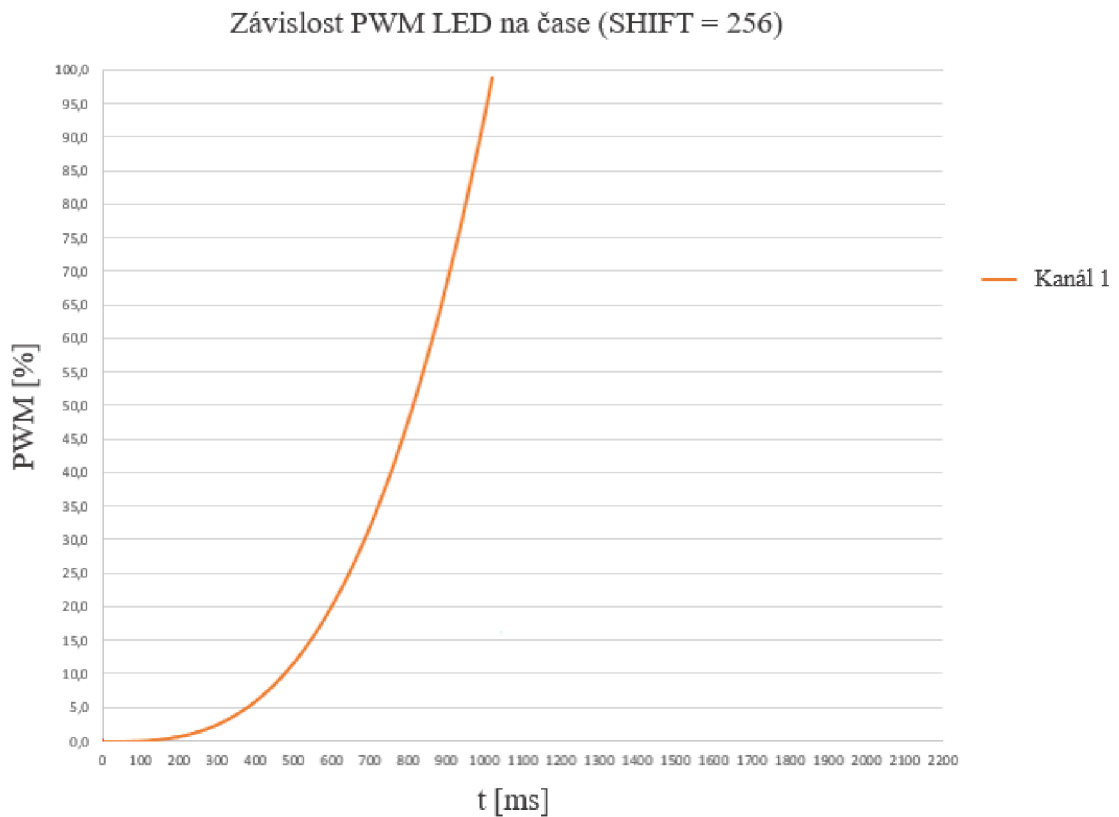
**Tab. 3-22 CAN zpráva: zápis do pracovních registrů (SHIFTx = 156)**

CAN zpráva: can_write_to_reg										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa <sub>(10)</sub>	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	0	0-15	LED	04	00	FF	00	-	-	-

- *Příkaz 0*: Binárně – 000000, slouží pro zápis do následujících maximálně sedmi pracovních registrů počínaje adresou, která je obsažena v prvním bytu dat zprávy.
- *Data 0 = LED <0;150>* představuje číslo LED, která má být zapnuta.
- *Data 1 = „04“*: na této pozici dat, led kontrolér očekává číslo polynomiální křivky, dle které má systém nastavovat hodnoty včetně jejího posunu na křivce.
- *Data 2 = „00“*: hodnota 00 představuje počáteční hodnotu na zvolené polynomiální křivce.
- *Data 3 = „FF“*: hodnota FF představuje konečnou hodnotu na zvolené polynomiální křivce.
- *Data 4 = „00“*; tato hodnota představuje dobu zpoždění od chvíle kdy je povolen výstupní kanál.

Křivka náběhu LED, odpovídající výše uvedené CAN zprávě, má podobu, jak je zobrazeno na obr. 3-27.





**Obr. 3-27** Polynomiální křivka pro kanál č.1 (SHIFT<sub>x</sub> = 256)

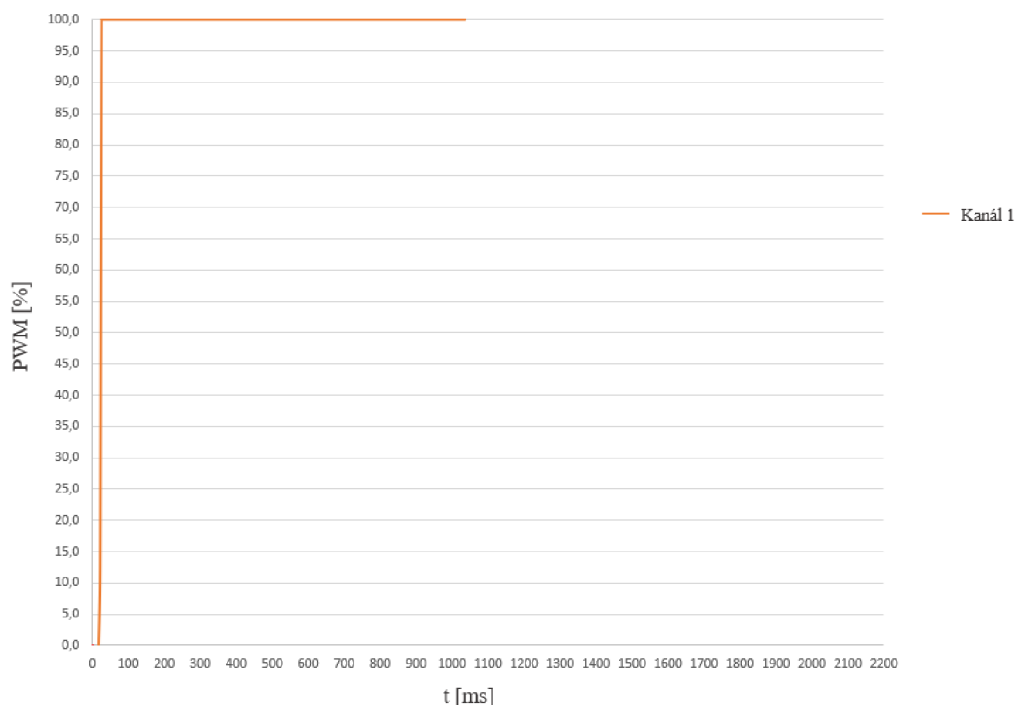
Pokud změním hodnotu posunu (SHIFT<sub>x</sub>) jsme schopni získat „ostřejší“ náběh LED. Pro hodnotu posunu např. 4, by CAN zpráva vypadala následovně:

**Tab. 3-23** CAN zpráva: zápis do pracovních registrů (SHIFT<sub>x</sub> = 4)

CAN zpráva: can_write_to_reg			Data [0-7] (16)							
Rozšířený identifikátor			d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz (10)	Adresa (10)								
0x15540000	0	0-15	LED	04	00	FF	00	-	-	-

Průslušná křivka tomuto nastavení je zobrazena na obr. 3-28.

Závislost PWM LED na čase (SHIFT = 4)



**Obr. 3-28** Polynomiální křivka pro kanál č.1 (SHIFTx = 4)

Pokud jsou všechna data zapsána do jednotlivých pracovních registrů, led kontrolér očekává přijetí zprávy s příkazem k povolení výstupních kanálů. Tato zpráva má formát:

**Tab. 3-24** CAN zpráva: povolení výstupních kanálů

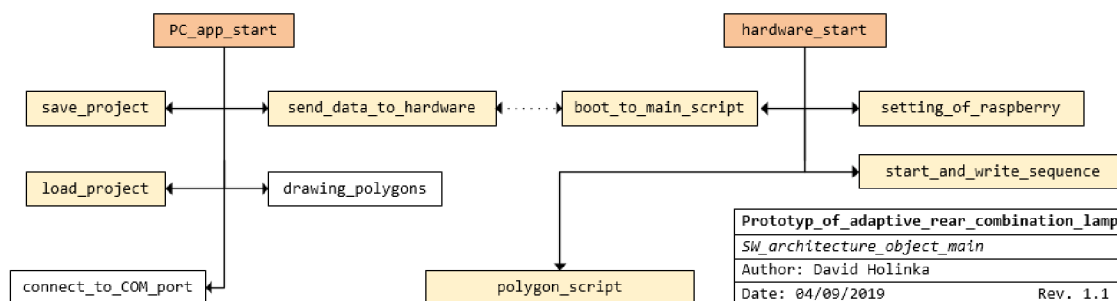
CAN zpráva: can_start_command										
Rozšířený identifikátor			Data [0-7] <sub>(16)</sub>							
Standardní formát ID <sub>(16)</sub>	Příkaz <sub>(10)</sub>	Adresa <sub>(10)</sub>	d[0]	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]	d[7]
0x15540000	32	-	00	00	-	-	-	-	-	-

Po této zprávě musí následovat sekvence CAN zpráv viz tab. 3-15 (broadcastové vynulování watchdog časovače), jinak by došlo k přechodu led kontroléru do LHM a jeho výstupní kanály by byly uzavřeny.

Softwarová úroveň 2 je zaměřena na komunikaci mezi řídicím modulem Raspberry Pi 3 a LED kontrolérem. Mezičlánek zde tvoří CAN modul, který je složen z obvodů MCP2515 a TJA1000. Tento modul slouží k převodu SPI komunikace na CAN komunikaci.

Softwarová úroveň 3 slouží k propojení PC aplikace a řídicí modul. Z počítačové aplikace, která byla vyvinuta v programovacím jazyce C#, jsou data odesílána přes USB/UART převodník do řídicího modulu.

Kompletní chování systému je představeno pomocí funkční softwarové architektury. Tato architektura je rozdělena do několika bloků. Základními bloky jsou tzv. *PC\_app\_start* a *hardware\_start* (viz obr. 3-29).

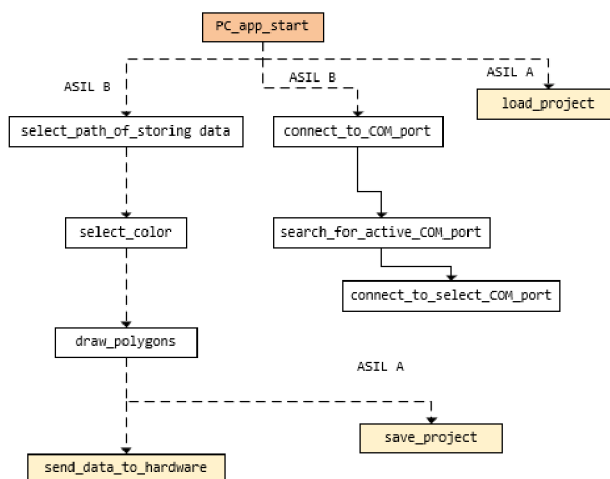


**Obr. 3-29 SW architektura (základní blok)**

Počítačová aplikace je popsána v kapitole 3.9.1. Její základní funkce jsou následující

- *save\_project*
- *load\_project*
- *drawing\_polygons*
- *connect\_to\_COM\_port*
- *send\_data\_to\_hardware*

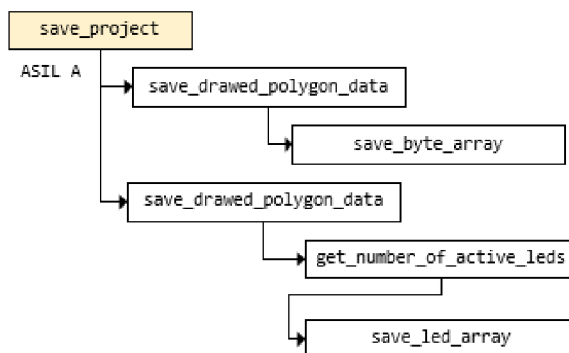
a jsou znázorněny na následujícím obrázku.



**Obr. 3-30 SW architektura: blok start počítačové aplikace**

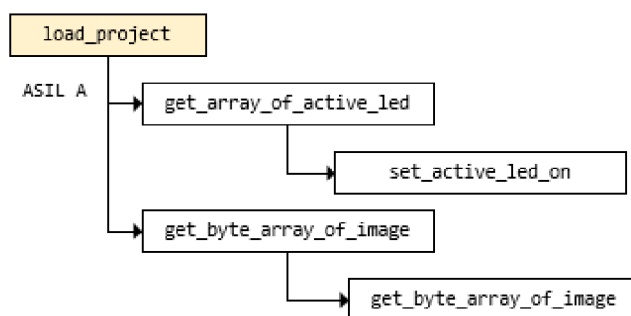
Světlé podbarvení jednotlivých bloků znamená, že daný blok obsahuje další „pod-blok“ s dalšími funkcemi.

Ukládání projektu znamená, uložení navrženého polygonu a čísla aktivních LED, které byly zjištěny dekódováním. Jeho funkční blok je znázorněn na obr. 3-31. Projekt se ukládá do formy textového souboru. V první části souboru, je zapsán řetězec aktivních LED s oddělovacím znakem „;“. Po zapsání všech aktivních LED do souboru následuje oddělovací znak „!“ . Tento oddělovací znak je zde pro rozdělení dat týkajících se LED a obrazce. Za tímto znakem následují data týkající se obrazce, které jsou ve formátu bytového pole.



**Obr. 3-31 Blok funkce save\_project**

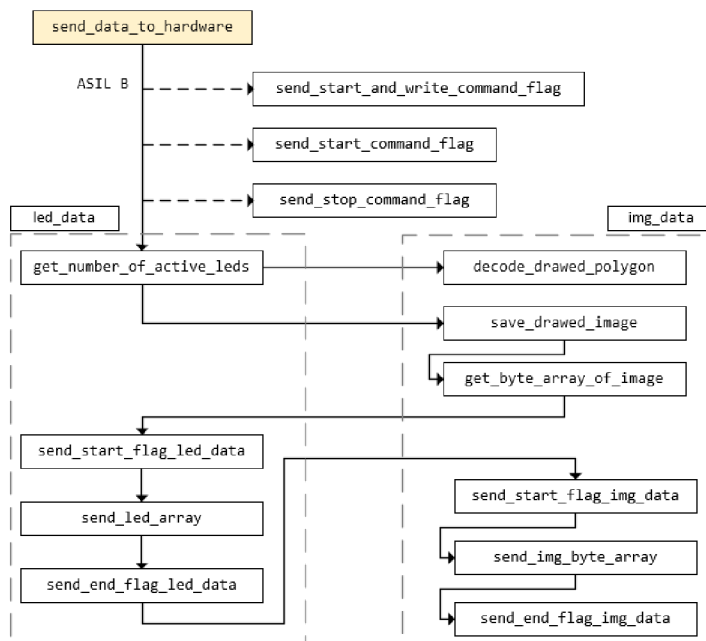
Nahrání projektu probíhá způsobem čtení dat z textového souboru, do kterého byl projekt uložen (viz obr. 3-32). Pomocí oddělovacích znaků algoritmus rozezná data týkajících se LED pole a obrazu. Z bytového pole program vytvoří obrázek a nastaví ho jako pozadí na pracovní plochu pro kreslení polygonů.



**Obr. 3-32 Blok funkce load\_project**

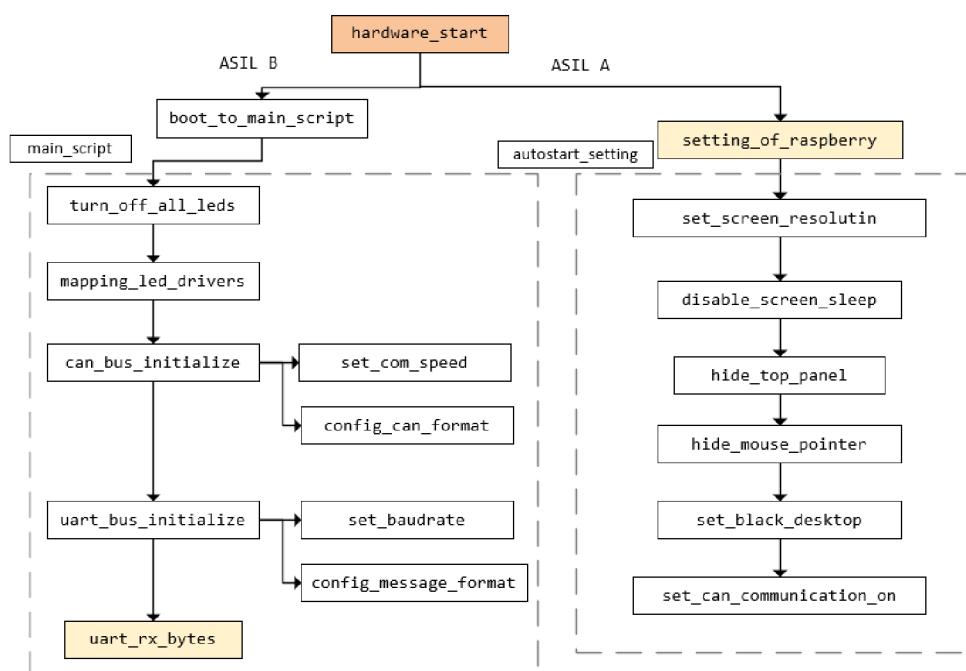
Oba tyto bloky mají bezpečnostní klasifikaci ASIL A. Jelikož nějakým způsobem neohrožují funkčnost systému. V klasifikaci ASIL B je ale následující blok zobrazený na obr. 3-33. Jedná se o funkční blok odesílání dat do hardwaru, respektive řídicímu modulu Raspberry Pi 3. Nepřerušované spojení bloků znázorňuje automatické řízení procesu. Řídicímu modulu se pomocí UART komunikace odesílají data o aktivních LED a pole bytů představující navržený polygon. Jednotlivé fáze přenosu jsou od sebe odděleny

prapory tzv. „flags“, aby program běžící na řídicím modulu byl schopný rozeznat, jak s přijímanými daty nakládat.



**Obr. 3-33 SW architektura: blok odesílání dat do HW**

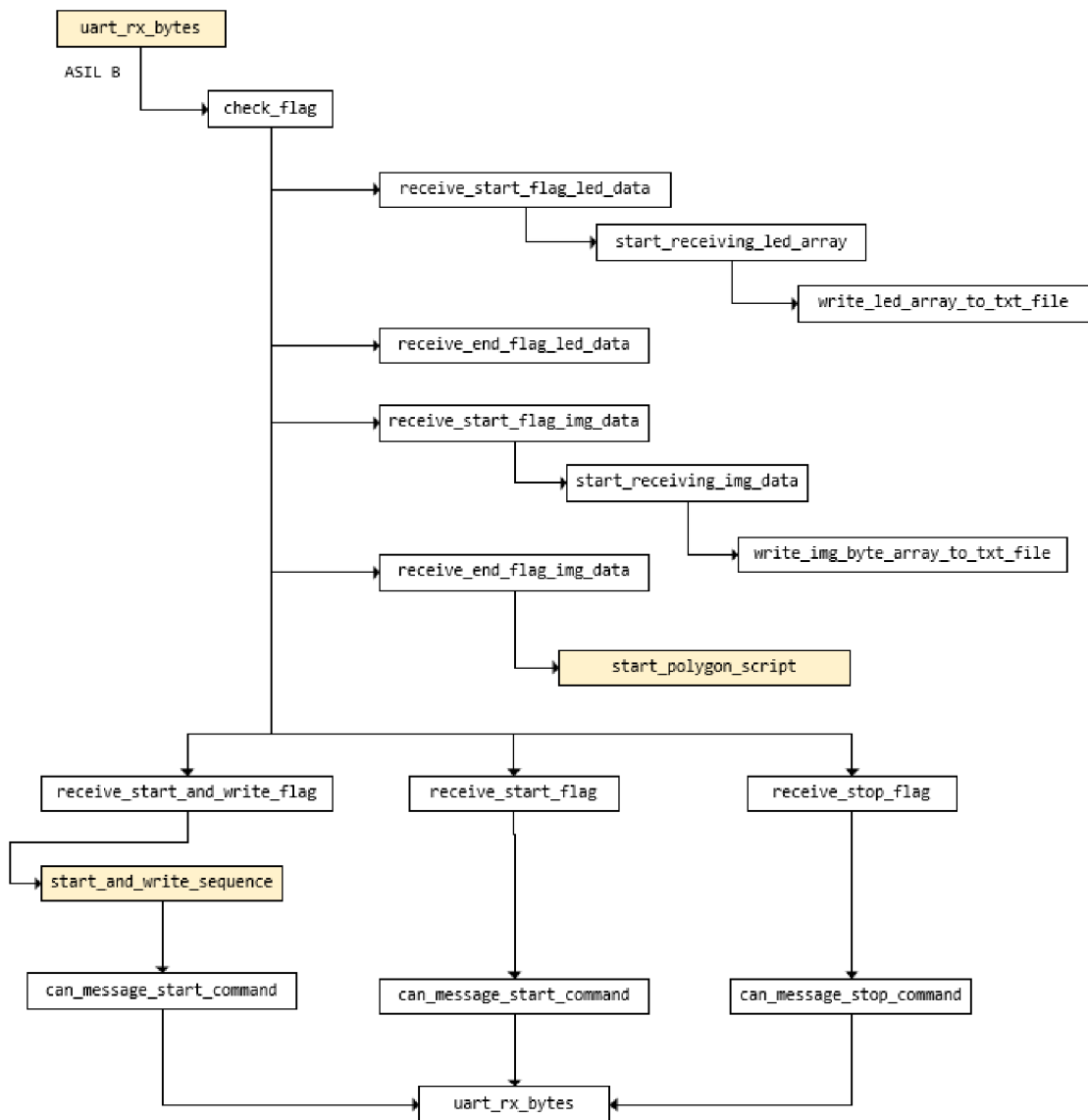
Při spuštění hardware dochází k automatickému nastavení chování řídicího modulu a zároveň ke spuštění hlavního programu, který bude běžet celou dobu od puštění po vypnutí zařízení (viz obr. 3-34). V automatickém nastavení řídicího modulu se například nastavuje rozlišení obrazovky, které je nakonfigurováno podle velikosti



**Obr. 3-34 SW architektura: blok spuštění hardware**

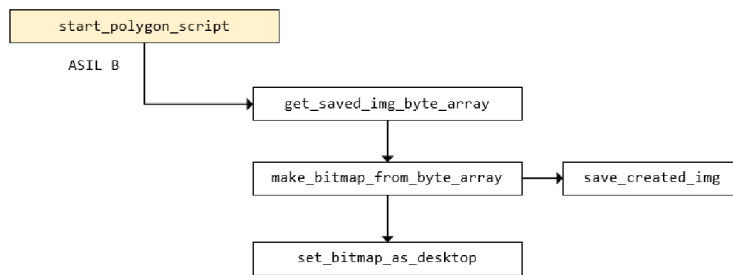
matice LED panelu. V první části programu dochází k inicializaci a nastavení sériové komunikační sběrnice CAN a UART.

Následně program přejde do bloku *uart\_rx\_bytes* (viz obr. 3-35), ve kterém přijímá data odeslané z počítačové aplikace po komunikační sběrnici UART. Program sleduje UART komunikaci v 0,5 ms smyčce. Jakmile dorazí data, podle již zmiňovaných flags, program rozpozná, o jaká data se jedná. Obvykle jsou první odesílány data o LED. Program tedy skočí do funkce, která tyto data uloží do souboru, ze kterého se později budou tyto data vyčítat. Následně uloží data ve formě bytového pole do jiného souboru.



**Obr. 3-35 SW architektura: blok příjem data po UART komunikaci**

Jakmile byly přijaty data o LED a obrazci, je automaticky spuštěn skript (viz obr. 3 - 36), který pracuje se souborem, kde jsou uloženy data o obrazci.

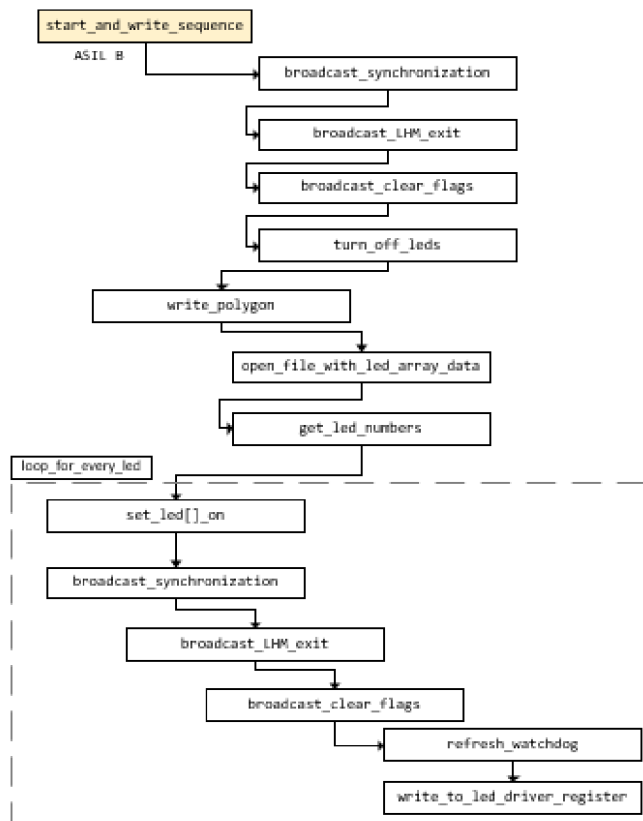


**Obr. 3-36 SW architektura: skript pro vykreslení polygonu**

Tento skript je počítačová aplikace, která je automaticky spuštěna po zapsání přijatých dat o obrazci. Aplikace čte tyto data a vytváří z bytového pole obraz, který následně uloží a nastaví na pozadí plochy. Po provedení těchto úkonů se automaticky vypne a program pokračuje v přijímání dat po UART komunikaci.

Sekvence pro zápis dat a start je spuštěna po přijetí *uart\_receive\_start\_and\_write\_flag*. Jde o zápis dat do registrů jednotlivých LED kontrolérů.

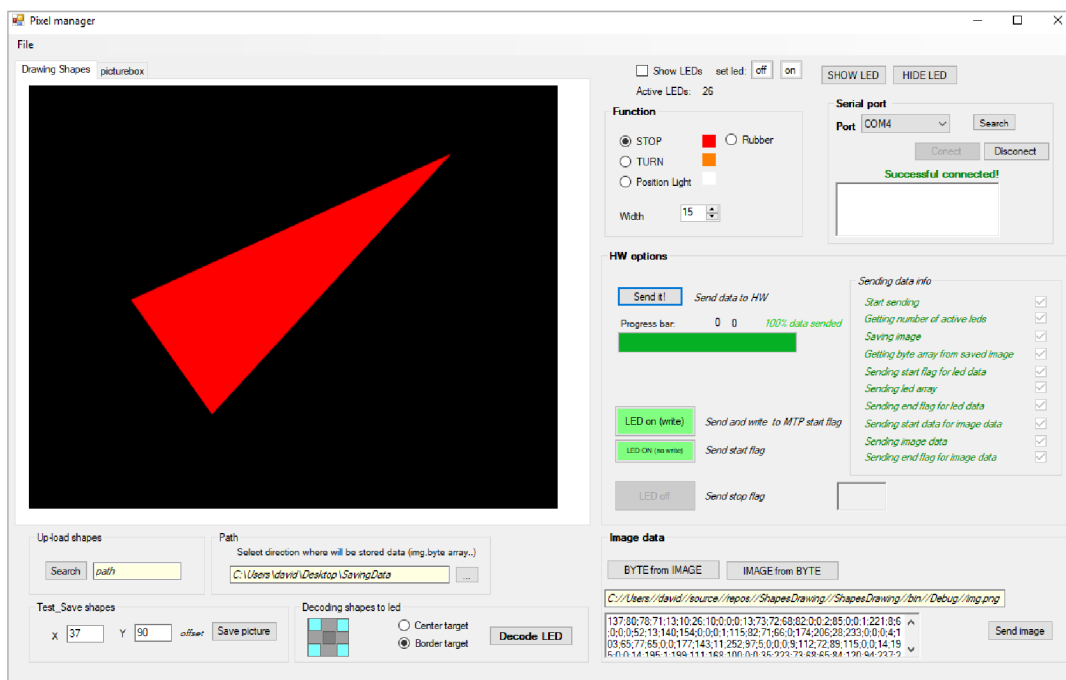
Funkce vyčítá data o LED uložená v souboru a do příslušných registrů jednotlivých LED kontrolérů zapisuje hodnoty, aby při startu byly aktivní právě ty správné LED.



**Obr. 3-37 SW architektura: startovací a zapisovací sekvence**

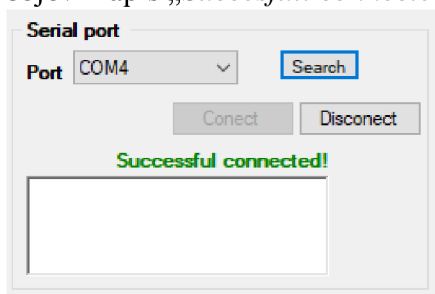
### 3.9.1 Počítačová aplikace

Počítačová aplikace byla vyvíjena v prostředí Microsoft Visual studio 2017 v programovacím jazyce C#. Její uživatelské rozhraní je znázorněno na obr. 3-38. Po spuštění počítačové aplikace je možné definovat, respektive kreslit libovolné obrazce ve 3 různých barvách. Červená barva znázorňuje brzdovou světelnou funkci, oranžová je pro odbočovací světelný signál a bílá poziční světla.



Obr. 3-38 Uživatelské rozhraní počítačové aplikace

Vedle nastavení barev je nastavení sériového portu (viz obr. 3-39). V jednoduchém combo-boxu jsou po stisknutí tlačítka „Search“ vyhledány všechny aktivní sériové COM porty. Jakmile vyberu ten, který představuje můj připojený USB/UART převodník, stačí se stiskem na tlačítko „Connect“, připojit k danému portu. Po úspěšném připojení se objeví nápis „Successful connected!“.



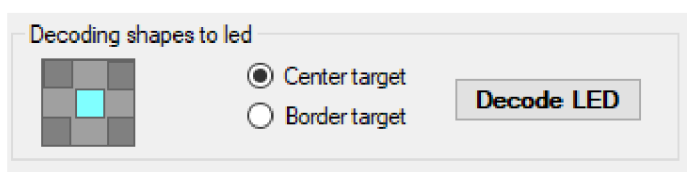
Obr. 3-39 Nastavení sériového portu

Polygon je vytvářen na neviditelné matici panelů 10 x 15, kterou si lze pro zajímavost zobrazit. Jednotlivé bílé panely znázorňují rozložení

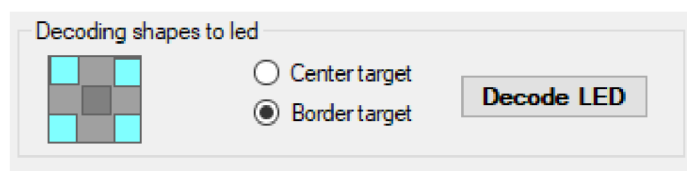


LED matice, která slouží pro podsvícení LCD displeje. Aby byla aplikace co nejvíce automatizovaná, pro zjišťování aktivních LED (znázorněno modře) byl sespsán algoritmus pro dekódování obrazce.

Dekódování proběhne manuálně buďto při stisku tlačítka „Decode LED“ nebo automaticky při nahrávání dat do hardware. Je možné zvolit mezi dvojím typem dekódování. Dekódování s terčem uprostřed (viz obr. 3-40) nebo s terčem v rozích LED (viz obr. 3-41).



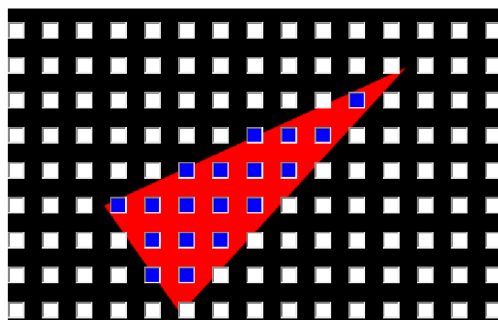
**Obr. 3-40 Dekódování s terčem uprostřed LED**



**Obr. 3-41 Dekódování s terčem v rozích LED**

Princip algoritmu spočívá v porovnávání hodnot pozic jednotlivých panelů. Při stisku tlačítka pro dekódování se vytvoří obraz pracovní plochy pro kreslení polygonů. Tento obraz je následně rozložen na jednotlivé pixely. U těchto jednotlivých pixelů je zjišťována jejich barva. Pokud je jejich barva různá od černé, algoritmus si uloží jejich pozici do paměti. Hodnoty těchto pozic jsou potom porovnávány s pozicemi jednotlivých panelů, představující reálné pozice LED. Porovnávání může probíhat, jak je již zmíněno výše, na základě rovnosti pozic rohů jednotlivých panelů, nebo jejich středů.

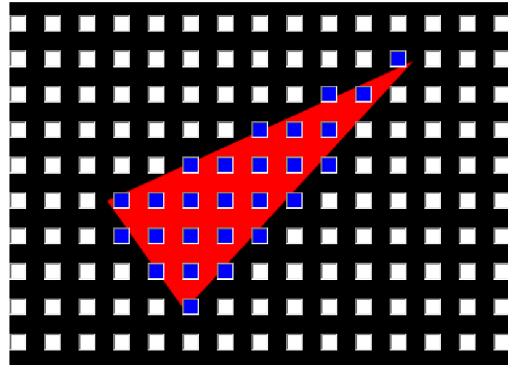
Na obr. 4-42 je znázorněna výsledná matice aktivních LED po dekódování s terčem uprostřed LED.



**Obr. 3-42 Výsledná matice aktivních LED po dekódování s terčem uprostřed LED**

Jak můžeme vidět, tato matice nepokrývá zcela celý polygon a ve výsledku mohou být jeho některé krajní části ztmavlé. Aktivních LED je celkem 18.

Pro stejný polygon při výběru dekodování s terčem v rozích LED je výsledná aktivní matice větší (viz obr. 3-43). Tvoří ji 26 aktivních LED a pokrývá celý polygon



**Obr. 3-43 Výsledná matice aktivních LED po dekodování s terčem v rozích LED**

## 4 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh a realizace prototypu adaptivní zadní svítilny založené na nové zobrazovací technologii. Zároveň byl cílem vývoj kompletního ovládacího softwaru umožňující volně definovat jednotlivé světelné funkce.

Práce obsahuje teoretický úvod do problematiky LCD displejů a sériové komunikační sběrnice CAN. Tato komunikace je v této práci v široké míře využívána. Slouží ke komunikaci mezi jednotlivými LED kontroléry a řídicím modulem Raspberry Pi 3.

Část hardware tzv. LED panel byl navržen v rámci práce „Zákaznický upravitelný modul zadní svítilny s HD rozlišením“ od autora Jiřího Prokše. LED panel obsahuje celkem 150 vysoce svítivých LED, které slouží jako dynamické podsvícení LCD panelu. LED panel byl považován za nefunkční, avšak při pokusu o oživení zařízení bylo zjištěno, že problém byl v napájecí části. Tudíž byla napájecí část zaměněna za jinou. Napájení celého systému je zajištěno pomocí spínaného zdroje 12 V/12,5 A s výkonem 150 W. K tomuto zdroji jsou připojeny celkem dvě řídicí jednotky světlometu Audi LMS, které dodávají konstantní proud 100 mA – 1500 mA LED panelu pro napájení řetězců LED. Napětí 12 V je redukováno step-down měničem napětí na 5 V pro napájení např. řídicího modulu Raspberry Pi 3. Vedle spínaného zdroje je možné napájet systém dvanácti volty baterií o kapacitě 7200 mA/hod. Ta byla do práce zakomponována z prezentačních důvodů, aby bylo možné provést praktickou ukázkou bez nutnosti připojení do sítě.

Práce také obsahuje kapitulu o funkční bezpečnosti. Jelikož v automobilovém průmyslu se v dnešní době vynakládá maximální úsilí za účelem zajištění bezpečnosti a zvýšení komfortu provozovatelů automobilů. Bez certifikovaného systému funkční bezpečnosti podle normy ISO 26262 je téměř nemožné dodávat automobilové komponenty jednotlivým značkám. V kapitole je proto pojednáno o struktuře této normy ISO 26262 a dále o stanovování jednotlivých bezpečnostních úrovní ASIL A-D.

V rámci práce bylo vytvořeno systémové schéma. Systémové schéma je grafické znázornění funkčnosti celého systému, z něhož byly odvozeny systémové požadavky. Ty bylo nutné znát, pro vývoj softwaru. Kompletní softwarové vybavení systému bylo vyvíjeno dle standardního vývojového procesu pro vývoj SW v automotive (SW analýza, SW architektura, SW design a implementace). Součástí tohoto vývojového procesu jsou také softwarové testy, kterým byl vyvinutý systém podroben.

Po sestavení a oživení prototypu adaptivní zadní svítilny založené na nové zobrazovací technologii bylo dokázáno, že všech stanovených cílů práce a požadavků na systém bylo dosaženo.

# LITERATURA

- [1] BANAN WEBHOSTING: Jak funguje - LCD displej. *BANAN: Jak funguje - LCD displej* [online]. , 1 [cit. 2018-10-1]. Dostupné z: <https://www.banan.cz/serialy/Jak-funguje/Jak-funguje-LCD-displej>.
- [2] WIDOM, Michael a Gerald D. MAHAN. Liquid Crystal: PHYSICS. *ENCYCLOPEDIA BRITANNICA* [online]. [cit. 2018-10-3]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/liquid-crystal>.
- [3] KOVAČ, Pavel. Technologie LCD panelů: Popis jednotlivých technologií. *Svět Hardware: vše ze světa počítačů* [online]. 2013, 8.2.2013 [cit. 2018-10-23]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465>.
- [4] KOVAČ, Pavel. *Technologie LCD - IPS: Pricnip technologie IPS u LCD panelů*. [online]. In: . 26.11.2011 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rR0YbNjDoVU&list=PL5B931AD961AE6883>.
- [5] KOVAČ, Pavel. Technologie LCD panelů: Technologie LCD panelů. *Svět Hardware: vše ze světa počítačů* [online]. 2013, 8.2.2013 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465>.
- [6] Multimedia Displays: Displays (LCD,OLED, E-Paper). *DISPLAY LAB: PFORZHEIM UNIVERSITY* [online]. 2015, 2015, , 124 [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: [www.displaylabor.de](http://www.displaylabor.de).
- [7] MASTORAKIS, George. *Resource Management of Mobile Cloud Computing Networks and Environments* [online]. 1. 2015 [cit. 2018-11-2]. ISBN 1466682256.
- [8] DE GREEF, Pierre a Hendriek Groot HULZE. Adaptive dimming and adaptive boosting backlight technologies for LCD-TV systems. *EE Times* [online]. 14.11.2007, , 6 [cit. 2018-11-6]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1273777&page\\_number=2](https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273777&page_number=2).
- [9] UPTON, Eben. RaspberryPi. *RaspberryPi: Introducing raspberry pi model b plus* [online]. 14.7.2014 [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-raspberry-pi-model-b-plus/>.
- [10] CAN bus on raspberry pi with MCP2515. *RaspberryPi* [online]. 2016, 20.5.2016 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=141052>.
- [11] PROKŠ, J. *Zákaznický upravitelný modul zadní skupinové svítlny s HD rozlišením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 79 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vilém Kledrowetz, Ph.D..
- [12] Matrix LED Controller (MLC): Preliminary data sheet. *ASL5x15SHN* [online]. NXP, 9.4.2016, , 54 [cit. 2018-11-22].

- [13] LALÍK, Aleš. LVDS - snadné interní připojení (nejen) LCD. *Notebook* [online]. 2009, 8. 7. 2009, , 1 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://notebook.cz/clanky/technologie/2009/lvds>.
- [14] Co je to CAN BUS? Autoalarmy [online]. , 1 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <http://www.autoalarmy.cz/clanky/co-je-to-can-bus.html>.
- [15] POLÁK, K.. Sběrnice CAN. *Elektrorevue: časopis pro elektrotechniku* [online]. Brno, 2003, , 1 [cit. 2018-11-25]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>.
- [16] [3] TARABA, R.. Aplikování sběrnice CAN. HW: vše o elektronice a automatizaci [online]. 2004, , 1 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/aplikovani-sbernice-can.html>.
- [17] HOLINKA, D. *Testovací nástroj pro přípravu animovaných světelných funkcí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Edita Hejátková. [cit. 2018-11-25].
- [18] DNV GL: Zvýšení bezpečnosti vozidel díky ISO 26262. DNV GL BUSINESS ASSURANCE: Zvýšení bezpečnosti vozidel díky ISO 26262 [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.dnvgl.cz/assurance/automotive/iso-26262-bezpecnosti-vozidel.html>.
- [19] PDQM: SIL, ASIL - stupnice rizikovosti [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://ww.pdqm.cz/Standards/SW-Related/ASIL.html>.

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Fyzické uspořádání CAN sítě [14] .....	3
Obr. 1-2 Napěťové úrovně logických stavů na sběrnici CAN [16] .....	3
Obr. 1-3 Datová zpráva CAN [17].....	5
Obr. 2-1 Tekutý krystal [1].....	7
Obr. 2-2 Twisted nematic schéma [2].....	8
Obr. 2-3 Elektrooptická křivka tekutého krystalu (TN) .....	9
Obr. 2-4 Základní struktura displeje s TFT technologií [2].....	10
Obr. 2-5 Tvar jednotlivých subpixelů technologie IPS [3].....	11
Obr. 2-6 Regulace jasu subpixelu technologie S-PVA.....	12
Obr. 2-7 Schéma subpixelu technologie PLS, a) klidový stav b) aktivní stav [4].....	13
Obr. 2-8 Typy LED podsvícení .....	14
Obr. 2-9 Podsvicovací systém - filmy pro vylepšení jasu .....	15
Obr. 2-10 Ztráta jasu při průchodu LCD strukturou [6] .....	16
Obr. 2-11 Obrázek pro demonstraci adaptivního stmívání podsvícení [6].....	17
Obr. 2-12 Porovnání tradičního a adaptivního stmívání u podsvicování LCD [6].....	18
Obr. 3-1 Systémové schéma produktu .....	19
Obr. 3-2 Zjištění IP adresy zařízení .....	21
Obr. 3-3 Řídící modul - Raspberry Pi 3 .....	22
Obr. 3-4 Rozložení pinů na GPIO konektoru Raspberry Pi 3 .....	22
Obr. 3-5 CAN modul .....	23
Obr. 3-6 Modifikované zapojení CAN modulu .....	24
Obr. 3-7 Originální zapojení CAN modulu .....	24
Obr. 3-8 Základní nastavení sběrnice CAN.....	25
Obr. 3-9 Uživatelské prostředí USB2CAN.....	26
Obr. 3-10 Rozbor desky plošných spojů LED panelu .....	27
Obr. 3-11 Blokový diagram LED kontroléru ASL5015SN [12] .....	29
Obr. 3-12 Zapojení CAN sběrnice, MLC a $\mu$ C na stejném PCB.....	30
Obr. 3-13 Zapojení CAN sběrnice, MLC a $\mu$ C na odlišné PCB.....	31
Obr. 3-14 Zapojení LED kontroléru s adresou (00000).....	31
Obr. 3-15 Zdroj konstantního proudu od firmy NXP .....	33
Obr. 3-16 Zadní strana LCD s HDMI/LVDS převodníkem .....	35
Obr. 3-17 Pokovené pole reflektorů .....	35
Obr. 3-18 Struktura normy ISO 26262 .....	37
Obr. 3-19 ASIL klasifikace.....	39
Obr. 3-20 Architektura funkční bezpečnosti.....	40
Obr. 3-21 Vývojový diagram software .....	41
Obr. 3-22 Softwarové úrovně .....	42

Obr. 3-23 Pracovní diagram ASL5105SHN .....	42
Obr. 3-24 Diagram programování registrů obvodu ASL5015SHN.....	43
Obr. 3-25 Vývojový diagram konfigurace MTP registru .....	44
Obr. 3-26 Blokový diagram pro zápis dat do pracovních registrů.....	47
Obr. 3-27 Polynomiální křivka pro kanál č.1 (SHIFTx = 256) .....	49
Obr. 3-28 Polynomiální křivka pro kanál č.1 (SHIFTx = 4) .....	50
Obr. 3-29 SW architektura (základní blok) .....	51
Obr. 3-30 SW architektura: blok start počítačové aplikace .....	51
Obr. 3-31 Blok funkce save_project .....	52
Obr. 3-32 Blok funkce load_project .....	52
Obr. 3-33 SW architektura: blok odesílání dat do HW .....	53
Obr. 3-34 SW architektura: blok spouštění hardware.....	53
Obr. 3-35 SW architektura: blok příjem data po UART komunikaci.....	54
Obr. 3-36 SW architektura: skript pro vykreslení polygonu .....	55
Obr. 3-37 SW architektura: startovací a zapisovací sekvence.....	55
Obr. 3-38 Uživatelské rozhraní počítačové aplikace .....	56
Obr. 3-39 Nastavení sériového portu .....	56
Obr. 3-40 Dekódování s terčem uprostřed LED .....	57
Obr. 3-41 Dekódování s terčem v rozích LED .....	57
Obr. 3-42 Výsledná matice aktivních LED po dekodování s terčem uprostřed LED ...	57
Obr. 3-43 Výsledná matice aktivních LED po dekodování s terčem v rozích LED.....	58

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Tabulka úrovní světla [7] .....	17
Tab. 2-2 Adaptivní stmívání [6] .....	18
Tab. 3-1 Základní parametry Raspberry Pi 3 Model B [9].....	20
Tab. 3-2 Rozložení pinů Raspberry Pi 3 pro komunikaci UART.....	23
Tab. 3-3 Rozložení pinů Raspberry Pi 3 pro připojení CAN převodníku .....	24
Tab. 3-4 Porovnání parametrů vhodných LED [11] .....	27
Tab. 3-5 Technologické parametry LED panelu [11].....	28
Tab. 3-6 Adresy jednotlivých LED řadičů.....	32
Tab. 3-7 Zapojení 20pinového LVDS konektoru LCD .....	34
Tab. 3-8 Tabulka dopadů hrozeb .....	38
Tab. 3-9 Tabulka pravděpodobností události .....	38
Tab. 3-10 Tabulka schopnosti řidiče situaci kontrolovat.....	38
Tab. 3-11 Stanovení bezpečnostní funkce .....	39
Tab. 3-12 Rozšířený identifikátor CAN zprávy.....	43
Tab. 3-13 CAN zpráva: broadcastová synchronizace.....	44
Tab. 3-14 CAN zpráva: broadcastové opuštění limp home módu.....	45
Tab. 3-15 CAN zpráva: broadcastové vynulování watchdog časovače.....	45
Tab. 3-16 Nastavení watchdog časovače .....	45
Tab. 3-17 CAN zpráva: přiřazení oprávnění k zápisu .....	45
Tab. 3-18 CAN zpráva: zápis do MTP registru .....	46
Tab. 3-19 Adresy MTP registrů a jejich přiřazené výstupní kanály .....	46
Tab. 3-20 CAN zpráva: potvrzení zápisu do MTP registru .....	46
Tab. 3-21 Struktura pracovního registru.....	47
Tab. 3-22 CAN zpráva: zápis do pracovních registrů (SHIFTx = 156) .....	48
Tab. 3-23 CAN zpráva: zápis do pracovních registrů (SHIFTx = 4) .....	49
Tab. 3-24 CAN zpráva: povolení výstupních kanálů .....	50

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

LED	Light Emitting Diode
LCD	Liquid Crystal Display
TN	Twisted Nematic
TFT	Thin Film Transistor
IPS	In Plane Switching
H-IPS	Horizontal IPS
UH-IPS	Ultra Horizontal IPS
P-IPS	Performance IPS



RGB	Red Green Blue
VA	Vertical Alignment
MVA	Multi-Domain Vertical Aligment
P-MVA	Premium MVA
A-MVA	Advancerd MCCA
PVA	Paternet Vertical Alignment
PLS	Plane to Line Switching
CCFL	Cold Cathode Fluorescent Lamp
BEF	Brightness Enhancement Films
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
LVDS	Low-voltage differential signaling
CAN	Controller Area Network
PC	Personal Computer
SoC	System on Chip
GPU	Graphic Processing Unit
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
DSI	Display Serial Interface
GPIO	General Purpose Input/Output
USB	Universal Seríal bus
IP	Internet Protocol
FTP	File Transfer Protocol
TX	Transmit
RX	Receive
SPI	Serial Peripheral Interface
GND	Ground
MISO	Master In, Slave Out
MOSI	Master Out, Slave In
CS	Chip Select
SCK	Serial Clock
INT	Interrupt
PWM	Pulse Width Modulation
DPS	Deska plošných spojů
MLC	Matrix Led Controller
NTC	Negative Temperature Coefficient
MTP	Multiple Time Programmable
EDID	Extended Display Identification Data

# A SESTAVENÉ ZAŘÍZENÍ

## A.1 Schéma sestaveného zařízení

