

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTRONIKY A INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**DMX controller s využitím Raspberry Pi**

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Filip BROŽ**  
Osobní číslo: **E18B0002P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Téma práce: **DMX controller s využitím Raspberry Pi**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroniky a informačních technologií**

### Zásady pro vypracování

1. Proveďte rešerži internetových zdrojů návrhů
2. Vyberte a případně upravte nejvhodnější řešení
3. Realizujte potřebný HW, proveďte ověření a případnou úpravu SW
4. Navrhněte příklady použití, zaměřte se na možnost obsluhy prostřednictvím TCP/IP socketů

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:


1. <https://www.raspberrypi.org/>
2. <http://www.dmx-512.com/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Fiřt, Ph.D.**  
Katedra elektroniky a informačních technologií

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**



**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



**Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

**Dodatek k zadání Bakalářské práce****Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni v akademickém roce 2020/2021**

V souvislosti s krizovým opatřením vyhlášeným dle krizového zákona a mimořádným opatřením vydaným podle zvláštního zákona, na základě kterých došlo k omezení osobní přítomnosti studentů v prostorách vysoké školy a s ohledem na nutnost využití infrastruktury FEL při vypracování kvalifikační práce v období tohoto omezení a v plné míře s přihlédnutím k realizovatelnosti práce po dobu trvání tohoto omezení se v intencích čl. 54 odst. 4 Studijního a zkušebního řádu Západočeské univerzity v Plzni upravuje zadání práce takto:

Body 1, 2 a 4 zůstávají v plném rozsahu.

Bod 3: Realizujte potřebný HW, proveďte ověření a případnou úpravu SW

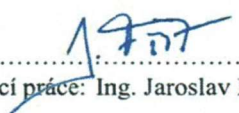
je změněn na:


3. Navrhněte potřebný HW, ověřte dostupnost a proveďte případnou úpravu SW

V Plzni dne 9. 4. 2021

Beru na vědomí a souhlasím.

V Plzni dne 9. 4. 2021

  
.....  
Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Fiřt, Ph.D.

  
.....  
Student: Filip Brož

V Plzni dne

  
.....

prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.

děkan Fakulty elektrotechnické  
Západočeské univerzity v Plzni

## Abstrakt

Tato práce je zaměřena na prostudování různých typů scénického osvětlení, komunikačního sériového protokolu DMX512, jednočipového počítače Raspberry Pi, návrhu kontroleru umožňující ovládání scénického osvětlení v prostoru kina a softwarové možnosti ovládání. Jednoduchost, cenová dostupnost a komunikační vzdálenost umožňuje protokolu DMX512 velmi široké uplatnění v oblasti jevištní techniky. Raspberry Pi dokáže snadno patřičným programem přijímat TCP/IP pakety a pomocí nich odesílat příslušné povely po sériové lince k navrženému kontroleru, který tyto sériové povely vysílá v patřičné úpravě pro standard EIA485. Užívané Raspberry Pi umožňuje různé přednastavení scény vhodným naprogramováním. Navržené zařízení je snadno realizovatelné užitím Raspberry Pi a zároveň umožňuje aplikaci nejen v kině. Využití Raspberry Pi v této práci přináší výhody ve snadném programování a rozšiřuje DMX signál dalšími způsoby řízení.

## Klíčová slova

Scénické osvětlení, DMX512, Raspberry Pi, UART, řízení scénického osvětlení, TCP/IP, galvanické oddělení.

## **Abstract**

This thesis is focused on studying different types of scenic lightning, serial communications protocol DMX512, a single-chip computer Raspberry Pi and the design of a controller, that enables the control of scenic lightning in a cinema setting, all controlled by a software. The simplicity, price availability and communication distance of a DMX512 protocol enables very wide application in the area of stage technology. Raspberry Pi is capable of easily receiving TCP/IP packets using a corresponding computer program. With the help of these packets, it is able to send corresponding commands to the designed controller using a serial line. The commands being sent by the controller are modified to be compatible with the EIA485 standard. The Raspberry Pi enables different presets of a scene with an appropriate programming. The designed device is easily realized using a Raspberry, the device can also be used in other applications, not just in a cinema. The Raspberry Pi brings advantages in the form of the ease of programming and also furthers the options of controlling a DMX signal.

## **Key words**

Scenic lightning, DMX512, Raspberry Pi, UART, control of scenic lightning, TCP/IP, galvanic isolation.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.



.....  
podpis

V Plzni dne 26.5.2021

Filip Brož

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>SCÉNICKÉ OSVĚTLENÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 SVĚTLO.....	11
1.2 HISTORIE OSVĚTLENÍ.....	13
1.3 DRUHY SCÉNICKÉHO OSVĚTLENÍ.....	14
1.3.1 Konvenční svítidla.....	14
1.3.2 Efektivní svítidla.....	16
1.3.3 LED svítidla.....	18
1.4 SPECIÁLNÍ EFEKTY.....	19
1.5 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ.....	19
<b>2 PROTOKOL DMX512</b> .....	<b>20</b>
2.1 HISTORIE DMX512.....	20
2.2 TECHNICKÁ SPECIFIKACE.....	21
2.3 POPIS DATOVÉHO FORMÁTU.....	21
2.4 ZAPOJENÍ SBĚRNICE.....	23
2.5 PŘENOS DMX PŘES IP SÍŤ.....	24
2.5.1 Art-Net.....	24
2.5.2 Wireless DMX.....	25
<b>3 RASPBERRY PI</b> .....	<b>25</b>
3.1 HISTORIE RASPBERRY PI.....	26
3.2 ROZDĚLENÍ MODELŮ A JEJICH HARDWARE.....	26
3.3 SOFTWARE.....	28
<b>4 NÁVRH DMX KONTROLERU</b> .....	<b>28</b>
4.1 SCHÉMA.....	29
4.1.1 GPIO header a RPi.....	29
4.1.2 Napájení kontroleru.....	30
4.1.3 Galvanické oddělení.....	30
4.1.4 Vysílač MAX485.....	31
4.1.5 Výstup DMX512.....	32
4.2 DPS.....	32
4.3 OVLÁDÁNÍ KONTROLERU.....	33
4.3.1 Příjem TCP/IP paketů.....	33
4.3.2 UART výstup.....	33
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>36</b>



## Úvod

Vývoj scénického osvětlení, rozrůstající se po příchodu elektrické energie přinesl rozsáhlý výběr různých svítidel pro možnosti osvětlení, které se využívá zejména při živých představeních k podtrhnutí a prohloubení atmosféry. Do této skupiny se řadí nejenom světla se specifickými světelnými efekty, ale i zařízení, která daný světelný vjem dokreslují, například kouřem.

Dřívější analogové ovládání bylo zcela nahrazeno digitálními systémy. Pomocí nich se nemusí každá scénická periferie připojovat zvlášť, ale napojí se na jednu vedoucí sběrnici. Ovládání již probíhá pomocí vhodně zvolených digitálních příkazů, přičemž si každá periferie vybere ve vysílaném signálu svoji ovládací část. Trend bezdrátových přenosů se projevuje i zde a dokáže vést DMX signál bez nutnosti připojení kabelu. Správa kanálů se provádí v osvětlovacím pultu nebo speciálně navrženém softwaru, kde kromě nastavování periférií existuje i možnost přednastavení a prolínání různých scén. Pro vytvoření DMX signálu musí existovat speciální zařízení, které umožňuje řídicí povely na tento signál převést.

Tato práce má za úkol navrhnout DMX modul pro ovládání osvětlení v malém kině. Pro profesionální osvětlovací techniku, umožňující různé efekty, se užívá speciální hardware, který je odladěný přímo na tuto věc a zvládá velké zatížení, kontrolu světel bez prodlev nebo stabilitu při značných vibracích, například při koncertech. V tomto případě se jedná o jednoduchou kontrolu světel, na kterou postačí základní navrhovaný modul s připojením na jednodeskový počítač. V návrhu se počítá s využitím mikrokontroléru ve formě Raspberry Pi, který dle potřeby pošle příslušné povely k DMX modulu, kde se vyšle signál s parametry zadávající normou EIA485.

Raspberry Pi je zde užito i z důvodu příjmu TCP/IP paketů ze serveru nacházejícího se v daném kině. Mimo jiné se dá využít také jiných jednodeskových počítačů, jako je například Arduino, nebo případně navrhnout DPS s vlastním mikrokontrolérem. V práci je také nastíněno, jakým způsobem by měl být realizován software, který ovládá se o příjem paketů a otevření sériové komunikace směrem k modulu.

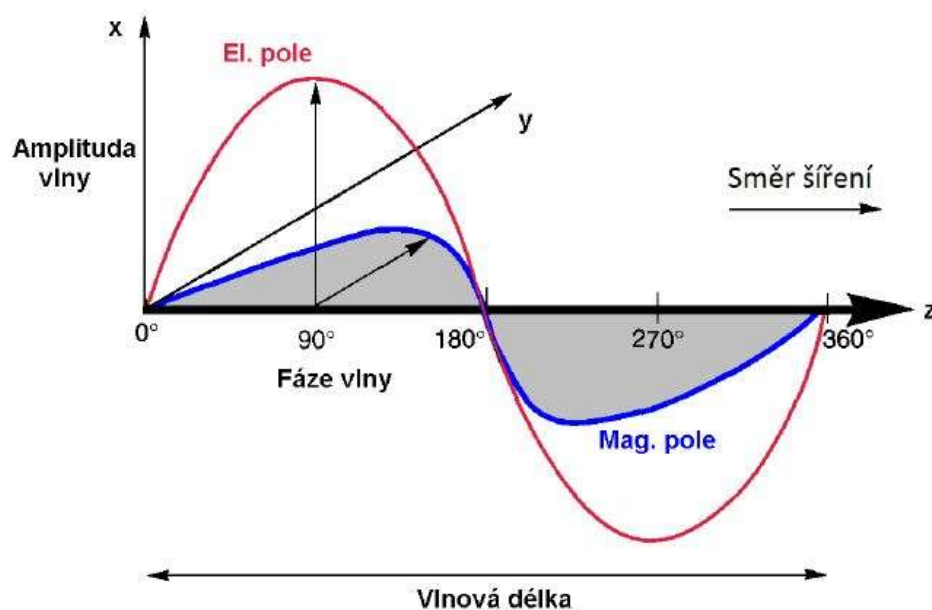
## Seznam symbolů a zkratek

$\lambda$ .....	Vlnová délka světla/fotonu [m]
$f$ .....	Frekvence světla/fotonu [Hz]
$c$ .....	Rychlost světla ve vakuu [ $m*s^{-1}$ ]
$v$ .....	Rychlost světla ve vzduchu [ $m*s^{-1}$ ]
$h$ .....	Planckova konstanta [ $J*s$ ]
$E$ .....	Energie fotonu [J]
$p$ .....	Hybnost světla/fotonu [ $kg*m*s^{-1}$ ]
LED .....	Light Emitting Diode
USB .....	Universal Serial Bus
USITT .....	United States Institute for Theare technology
TCP.....	Transmission Control Protocol
IP.....	Internet Protocol
ARM .....	Acorn RISC Machine
SPI .....	SCSI Paraller Interface
UART .....	Universal asynchronous receiver / transmitter
GPIO .....	General purpose input/output
THT .....	Through hole technology
RAM .....	Random access memory
SMD .....	Surface Mount Technology
DNS .....	Domain Name System

## Scénické osvětlení

### 1.1 Světlo

Elektromagnetické záření je obecně známo jako jev, na který se lze dívat ze dvou pohledů. Díky dualismu jej lze popsat teorií vlnovou, ale také kvantovou. Nelze přesně určit, jak moc se světlo chová jako částice nebo jako vlna. Při krátkých vlnách se projevuje spíše částicová charakteristika. Naopak oproti tomu, vlny dlouhé mají spíše charakter vlnění. [1][2]



Obr. 1.1 *Elektromagnetická vlna příčná [1]*

Vlnová teorie se zakládá na příčném elektromagnetickém vlnění. Tato vlna se skládá z vlny elektrického a magnetického pole, které jsou na sebe vzájemně kolmé. Taktéž je tato vlna kolmá ke směru šíření. Jako každá vlna, lze i u této vypočítat vlnovou délku vzorcem 1.1. [1][2]

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.1)$$

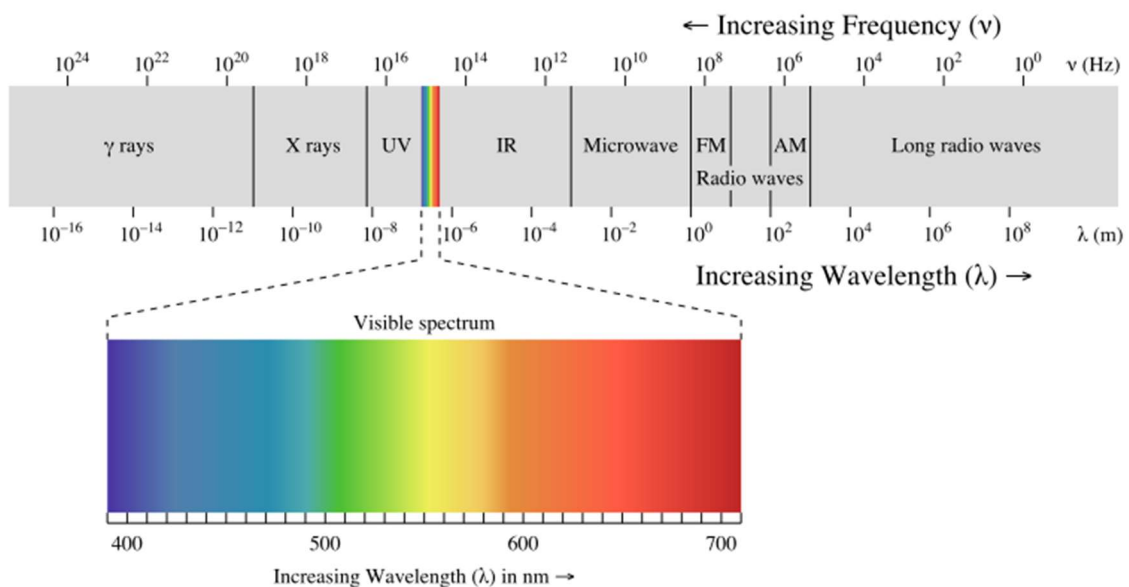
Kvantová teorie popisuje, že v určitých situacích dokáže mít částice vlnový charakter a naopak, že se vlna dokáže chovat jako částice. Toto tvrzení popsal poprvé světu Louis-Victor de Broglie v roce 1924 tak, že částici lze definovat jako vlnovou délku vzorcem 1.2. [2]

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1.2)$$

Světlo je tedy podle této teorie tok částic – fotonů. Jedná se o kvantum neboli krátký „balíček“ vln. Foton se ve vakuu pohybuje vždy rychlostí  $c$ , tedy  $3 \cdot 10^8$  m/s, díky tomu má nulovou klidovou hmotnost. Proto se foton musí vždy pohybovat, a přitom má svoji energii danou vzorcem 1.3. [1][2]

$$E = h \times f = \frac{h \times c}{\lambda} \quad (1.3)$$

Viditelné světlo je pouze část z elektromagnetického záření. Při frekvencích od  $3,9 \times 10^{14}$  Hz do  $7,9 \times 10^{14}$  Hz, vlnové délky v rozmezí 380-740 nm, dokáže v lidském oku vyvolat zrakový vjem. [2]



Obr. 1.2 Viditelné spektrum světla [2]

## 1.2 Historie osvětlení

Historie osvětlení sahá až do dávného pravěku, kde místní lidé měli jediný zdroj světla, a to oheň. Ten používali pro všechny své rituální obřady, jako byl například úspěšný lov apod. [3]

První zmínka o užití světla pro nějaké divadelní představení pochází z doby Etrusků. Herci využívali denního cyklu, zejména večer při západu slunce, kdy se prováděly různé tance a přednášely verše, využívající postupného zatemňování pro dramatictější atmosféru. Odtud pochází i původ římských a řeckých her, které razantně vylepšily divadelní představení s pomocí kruhových hledišť, pojízdných pódíí a jevištních strojů pro transport i akustiku. [3]

V pozdní antice se začalo poprvé uplatňovat umělé osvětlení, a to louče. V době křesťanství se díky úpadku Říma vývoj divadla úplně pozastavil. Další zmínka o osvětlení pochází z románského slohu, kdy se za použití svíček znázorňoval den nebo noc. V gotickém slohu se divadlo více rozšířilo i mezi studenty. Použitým osvětlením stále zůstává denní světlo, louče a svíčky. Za období renesance se dostává divadlo i do jiných společenských rovin. V polovině 15. století se objevuje závěsný lustr ze svící. Na konci 15. století použil Leonardo da Vinci poprvé točnu a zrcadlo pro odraz světla na herce. V roce 1626 vytvořil Josef Furtenbach divadlo se zadním příkopem, kde se nacházely lampy, které osvětlovaly celou zadní stěnu. Vývoj nadále pokračoval až v polovině 19 století, kdy se v pařížské opeře v roce 1849 poprvé objevil pokus o elektrifikaci použitím obloukové lampy pro znázornění východu slunce. [3]

Po roce 1881, kdy se konala elektrotechnická výstava v Mnichově, užil výstavní technik Karl Lautenschläger elektriny k osvětlení rampy ve stylu Furtenbacha. Po tomto roce nastává doba rozmachu elektriny, která je od té doby pro scénické osvětlení stěžejní. V průběhu 20 století, po rozšíření elektrifikace, se začíná naplno užívat k různým nasvícením scén. Ke svícení se užívalo klasické žárovkové vlákno, které bylo později zdokonaleno a produkovalo vyšší úroveň osvětlení. Postupně se elektrifikují větší počty divadel, operních a kulturních domů. Rozsvěcování a stmívání pak probíhalo pomocí velkých reostatů obsluhovaných systémem pák. Na takové obsluze se mohlo podílet až 12 osob. Od poloviny 20 století došlo k modernizaci osvětlovacích pák na osvětlovací pulty, dosti podobným těm, které se

používají dnes. Až v 70. - 80. letech 20 století se osvětlovací pult dostává do nynější podoby. Začíná vývoj digitálních systému, přenosových kabelů na dlouhé vzdálenosti, signálu DMX, automatizace osvětlení, různých druhů světel a jejich efektů, laserů... [3]

## 1.3 Druhy scénického osvětlení

### 1.3.1 Konvenční svítidla

- Světlomet FHR

Jedná se o nejčastěji používané svítidlo. Využívá plankonvexní ploskovypuklou čočku (PC), která je vyrobená z čistého skla. Používají se k přímému osvětlení scény či dekorací. Jeho kužel je jemný, na jeho okraji se intenzita pomalu snižuje. Vyzařování světla ze žárovky probíhá na zadní stranu světlometu, odkud se světlo odrazí pomocí hliníkového parabolického zrcátka a prochází čočkou. Světlomet umožňuje i změnu velikosti kužele změnou vzdálenosti světelného zdroje od čočky, které bývá mechanické. Kužel se ještě může tvarovat pomocí extérních klapků a obarvovat barevnými filtry. [4][5]

- Světlomet GHR

Tento světlomet lze považovat za přímé konkurenty ke světlometu FHR. Na první pohled jsou obě tyto světla velice totožná, mají stejnou konstrukci a liší se pouze v použité čočce. Zde se nachází čočka Fresnelova. Na té jsou vybroušené zářezy po celém obvodu do soustředných kruhů k jejímu odlehčení. Světlo má díky tomu menší divergenci úhlu, neláme se a svítí požadovaným směrem. Kužel má více jasný střed a méně jasný okraj. Okraj kužele není tak přesně daný, je více do ztracena. [4][5]



Obr. 1.3 FHR a GHR světlomet [3]

- Profilové světlometry

Profilové světlometry se ujmuly jako náhrada za dříve používané světlometry na malé napětí (24 V). Každý výrobce může mít různou konstrukci, ale hlavní princip zůstává ve všech zachován. Každé má v přední části tubus složený ze dvou čoček, kterými prochází světlo. Tyto čočky se mohou v tubuse pohybovat. Pomocí těchto čoček se modeluje (fokusuje) světelný úhel paprsku. Buď tedy může být kužel přesně ostrý anebo úplně rozostřený. Součástí tubusu jsou také clony ze všech stran, které umožňují oříznutí kužele dle potřeby, a také clona pro zúžení kužele (iris). Zadní část tubusu obsahuje ještě držák statických obrazců (gobo), do kterého se můžou umístit šablony, vyrobené z nehořlavého materiálu, která po prosvícení vytváří daný obrazec. Obrazec z tohoto světlometu vychází díky systému čoček v převrácené podobě. [4][5]



Obr. 1.4 Různé druhy profilového světlometu [6]

- Plošné světlomety (vany)

Jak z názvu vyplývá, tak toto světlo se užívá v případě, kdy je potřeba plošného svícení, barvení herecké scény, přidavných světel pro diváky nebo pracovní osvětlení. Tyto světlomety se dělí na dva typy dle zadní odrazové plochy na symetrické nebo asymetrické. [4][5]



Obr. 1.5 Symetrický a asymetrický plošný světlomet [7][8]

### 1.3.2 Efektová svítidla

Dalším typem svítidel jsou efektová svítidla, která mohou být automatizována a ovládána pomocí programu v ovládacím panelu. Tyto světla jsou daleko komplexnější než klasická konvenční světla. Jejich pořizovací cena je také násobně větší. Světla jsou



k ovládacímu panelu připojena přes kabel s XLR konektorem a komunikují skrz protokol DMX512 nebo Wi-Fi připojení. Napájení probíhá z elektrické sítě na 230 V. Tyto světla se nejčastěji užívají na koncertech, orchestrech, v muzikálech a také na diskotékách. Poslední dobou se tato světla objevují i v divadlech. Výhoda těchto světel je ve větší rozmanitosti efektů, jako například změna barev. [5]

- Moving hlavy

Jedná se o plně motorizovaná svítidla ovládaná pomocí ovládacího panelu, řízená protokolem DMX512, připojená přes kabel s XLR konektorem a napájená z 230 V. Jako světelný zdroj používají výbojku. Jsou to plně motorizovaná svítidla ovládaná z panelu. Dělí se na dva typy, Spot moving hlavy (na pohled podobné profilovým) a Wash moving hlavy (na pohled podobné FHR a GHR). Dokážou dokonale nahradit konvenční svítidla, měnit intenzitu, tvar, šablony gobo a skládání barev. [5]

- Scan

Toto svítidlo v sobě nemá žádnou pohyblivou hlavu, ale využívá k pohybu zabudované zrcátko. Je rovněž připojen XLR kabelem a ovládán přes DMX512. Stejně jako u moving headů, lze i na tomto svítidle měnit barvy, intenzitu, tvar, gobo šablony. Výhoda těchto světel spočívá v rychlosti a nízké hlučnosti. [5]

- Stroboskopické svítidla

Opět je toto svítidlo řízené pomocí DMX512 a připojené přes XLR kabel k ovládacímu panelu. Jeho efekt spočívá v blikání vysokotlaké výbojky různou frekvencí. Čím větší je frekvence, tedy počet bliknutí za jednu vteřinu, tím se lidskému oku zdá výsledný efekt plynulejší. Při malé frekvenci se světlo může jevit jako trhané. Využívá se hlavně na různých koncertech, diskotékách, muzikálech. [4][5]

- UV reflektory

Speciální světla, která využívají ultrafialové záření. To je elektromagnetické záření o vlnové délce kratší než viditelné světlo. UV světlo se projevuje na reflexních a světlých

materiálech jako bílé, díky degradaci ultrafialových vln na vlny delší, které jsou viditelné odraženými paprsky. Samotná UV lampa musí mít stálou hodnotu napětí, jinak dojde k jejímu poškození. [4]

- Lasery

K vytvoření efektu je využito laserového paprsku. Laser, neboli ve zkratce Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, je záření založené na stimulované emisi. Vyzářený foton se pomocí optického rezonátoru odráží uvnitř laseru k nahromadění jeho energie, který se následně vyzařuje ve formě světleného paprsku v určitém směru. Dělí se do několika tříd, podle požadovaného efektu, podle velikosti, vzdálenosti dosvitu paprsku, podle prostoru, kde budou využité. Dokáží vytvářet různé druhy efektů, od jednotlivých paprsků po plošné stěny, nápisy, vizualizace a obrazce. Jejich barva je většinou zelená, ale existují i lasery, které umí skládat barvy dle RGB. Mohou být řízeny přes DMX nebo pomocí softwaru v PC. Obecně platí, že by laser neměl být silný natolik, aby dokázal poškodit lidem zrak, tedy se nesmí dostat během show do kontaktu s očima. [4][26]

### 1.3.3 LED svítidla

LED je polovodičová součástka, která dokáže vyzařovat světlo při průchodu proudu v propustném směru. Je založená na spojení polovodiče typu P a N, které vznikají přidáním do struktury křemíku prvku ze skupiny III.A nebo V. A s převládajícím typem částice „díra“ nebo elektron. Při spojení těchto dvou částí se na rozhraní spolu díry a elektrony rekombinují v určité oblasti nazvané „vyprázdňená oblast“. V propustném směru se tato oblast zmenšuje a umožní nosičům elektrického náboje přecházet přes tuto oblast, zatímco v závěrném směru se vyprázdňená oblast rozšiřuje a blokuje přechod. [4]

LED světla se staly velice populární a rozšířily se do všech oblastí, kde se užívá umělého osvětlení. Může za to především výrazná úspora elektrické energie proti ostatním druhům zdroje světla. Ve scénickém osvětlení můžeme LED světla najít v jakémkoli výše zmiňovaném typu světla. LED světlo vyžaduje konstantní napětí, protože jakákoliv změna napětí může zapříčinit pohasnutí nebo probliknutí. Z toho důvodu se k LED svítidlům přidávají různé obvody pro úpravu napětí či stmívání daného světla, protože LED svítidla nemohou být stmívána stejným způsobem jako vláknová žárovka. Stmívání světla se provádí pomocí deformace napětí a tato deformace se projevuje na samotné LED žárovce jako

blikání, jelikož se LED světlo od vláknové žárovky liší tím, že má daleko rychlejší odezvu. Toto lze omezit za pomoci obvodů spojených s LED světlem, řídicí stmívání a také vysokou obnovovací frekvencí u LED, kde se lidskému oku neprojeví efekt blikání. Existují jak jednobarevné LED svítidla, tak i vícebarevné, ty užívají skládání barev třemi LED zdroji dle RGB, tudíž je potřeba třech DMX kanálů ke změně barev. Důležitým aspektem je pořizovací cena, která bývá vyšší než u klasických vláknových žárovek. [4]

## 1.4 Speciální efekty

Tato zařízení většinou doplňují světelný tok vycházející ze světel. Nejčastěji se jedná o přístroj fogmachine (kouřostroj, mlhostroj, kouřák). Užívá se k podtržení atmosféry, pomáhá dokreslit světelný kužel, navodit atmosféru ve formě ranního oparu nebo hororové mlhy. Existují 3 základní typy, heavy fog, medium fog a hazer fog. Liší se v množství vyprodukovaného dýmu. Obecně se tento přístroj skládá z hlavní konstrukce, kde se nachází čerpadlo, nádržka na kapalinu, ze které dým vzniká, kondenzátor pro vytvoření dýmu, hnací motor pro vyhnání dýmu z přístroje. Dle potřeby lze pak vycházející dým ochlazovat, aby se táhl po zemi. Vycházející dým pak může být rozeznán pomocí větráků. Kouřostroj může být zapojen kabelem s XLR koncovkou a ovládán skrz protokol DMX512 na ovládacím pultu. [4]

Dalším speciálním zařízením je snowmachine (sněhostroj). Má velice podobný princip jako kouřostroj, využívající rozdílnou kapalinu, která dokáže vytvořit imitaci sněhu. Fog screen (kouřová stěna) je přístroj na vytvoření kouřové stěny, produkující zchlazený dým v ohraničeném úseku. Water screen (vodní stěna), funguje také na obdobném principu, zde se nacházejí trysky, které se zapínají v různých intervalech a vytváří tak obrazce. [4]

## 1.5 Způsoby řízení osvětlení

- Ovládací panel

Ovládací neboli osvětlovací panely se mohou vyrábět od jednoho až do několika tisíců výstupních kanálů. Dnešní panely používají digitální komunikaci. Většina z nich komunikují se svými periferiemi přes protokol DMX512 anebo jejich modernějších nadstavb, jako Art-Net, RDM, Wireless DMX. Jako periferie se může řadit výkonová stmívací jednotka, automatizovaná světla nebo ostatní vedlejší zařízení, jako je kouřostroj, sněhostroj. Pro tyto

panely je charakteristická spolehlivost a stabilita. Důležitou roli zde hraje pořizovací cena, která se může lišit podle výbavy a možnosti naprogramování. Dnešní pulty již umí scénu předem naprogramovat, uložit či zálohovat a dle potřeby scénu přepínat. [5]

- Program v počítači

Řízení pomocí programu v počítači vychází jako levnější varianta oproti ovládacímu pultu. Na rozdíl od drahých osvětlovacích pultů zde stačí počítač s dostatečným výpočetním výkonem, převodník USB na DMX a nějaký software pro ovládání. Výhodou může být i to, že nám celé ovládání zabírá menší plochu. Toto přechází i v nevýhodu, kdy v případě ovládání nějakého komplexnějšího osvětlení není ovládání pomocí klávesnice a myši tak pohodlné jako pult s posuvníky. Další nevýhoda spočívá v samotném počítači, kde nás může ovlivňovat jeho výkon. Zároveň mohou být i obavy ze stability systému, kdy může dojít k zaseknutí operačního systému nebo samotného programu, což může zkazit celou show. Řízení programem v počítači není tak spolehlivé a stabilní jako v případě pultů, jedná se ale o cenově dostupnou alternativu, která se hodně rozrostla v menších klubech, diskotékách a podobně. Program v počítači se v dnešní době používá i v případě řízení pomocí pultů, zde se však nestará o příjem DMX signálu, ale pouze o rozmístění jednotlivých kanálů k určitým ovládacím prvkům pro lepší manipulaci. [9]

## 2 Protokol DMX512

### 2.1 Historie DMX512

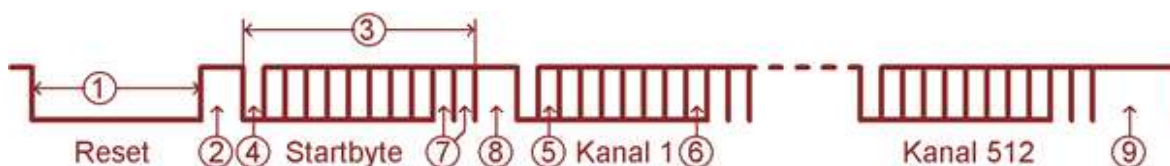
Tento protokol byl navržen v roce 1986 v institutu USITT, pro komunikaci a řízení v digitální podobě světelných a dalších speciálních efektů. Zcela nahrazuje již dříve používané analogové řízení, využívající k řízení konkrétní hodnotu napětí od 0 do 10 V na řídicím kabelu. Analogové řízení nebylo optimální pro větší provoz. Ke každému řízenému objektu bylo za potřeby vést jeden vodič. Také nebyla dodržována přesná řídicí veličina, připojená zařízení mající danou toleranci mohla získávat mírně odlišné hodnoty. Jak je obecně známo, analogový přenos je náchylnější na různá rušení, která moc nehrají do karet stmívacím jednotkám o výkonu několika kW. Tyto nedostatky se však dokázaly překonat po příchodu digitálního (číslicového) signálu. Základem protokolu DMX512 je jeho daná elektrická specifikace. Ta vychází z obecného průmyslového standardu EIA485, který umožňuje užití tohoto standardu v náročných podmínkách a jeho levnou realizaci. [10]

## 2.2 Technická specifikace

- Diferenciální napěťový přenos pracující od napětí +5 V
- Rozsah napětí přípustného na sběrnici od -7 V do +12 V
- Možnost připojení až 32 přijímačů/vysílačů na jedné sběrnici
- Počet segmentů není limitován
- Impedanční přizpůsobení linky odporem/terminátorem 120  $\Omega$
- Minimální zatěžovací impedance vysílače je 60  $\Omega$
- Maximální zkratový proud vysílače je 150 mA proti zemi, 250 mA proti 12 V
- Maximální délka vedení sběrnice je 1200 metrů, při maximální přenosové rychlosti 400 kBit/s
- Budič musí dodat na sběrnici rozdílové vstupní napětí od 1,5 do 5 V
- Budič musí mít ochranu před více buzením na sběrnici.
- Přijímač by měl mít minimální vstupní impedanci 12 k $\Omega$
- Logická 1 je definována napěťovou úrovní  $A - B < -200$  mV
- Logická 0 je definována napěťovou úrovní  $A - B > +200$  mV [10][11]

## 2.3 Popis datového formátu

Byla stanovena přenosová rychlost činící 250 kBit/s a dle názvu napovídající velikost datového paketu obsahující maximálně 512 datových bajtů (rámců). Po sběrnici jsou posílána data sériově a bez adresy. Každé zařízení, které je na sběrnici připojené, má svou danou vlastní počáteční adresu, od které si po přečtení adresy přečte požadovaný počet bitů. Z technické specifikace lze zjistit, že může být na sběrnici připojeno maximálně 32 zařízení. Pomocí splitterů a reapterů lze tuto hodnotu navýšit. Přijímače mohou obsluhovat větší množství adres, a naopak stejné adresy mohou být obslouženy více přijímači. Pokud bude mít více zařízení stejnou adresu tak budou na povel reagovat shodně. Tudiž lze i tímto způsobem zvýšit počet připojených zařízení na sběrnici, nevýhoda spočívá v nutnosti společné funkce. [10]



Obr. 2.1 Graf časování protokolu DMX512 [11]

č.	Popis	Min.	Typ.	Max.	Jednotka
1	Break (Reset)	88	176	1 s	$\mu\text{s}$
2	MAB (synchronizační mezera)	8	-	1 s	$\mu\text{s}$
3	Rámec	43,12	44	44,48	$\mu\text{s}$
4	Start bit	3,92	4	4,08	$\mu\text{s}$
5	LSB (první datový bit)	3,92	4	4,08	$\mu\text{s}$
6	MSB (poslední datový bit)	3,92	4	4,08	$\mu\text{s}$
7	Stop bit	3,92	4	4,08	$\mu\text{s}$
8	MTBF (mezera mezi rámci)	0	0	1,00	s
9	MTBP (mezera mezi pakety)	0	0	1,00	s

Tab. 2.1 Přehled časových intervalů protokolu DMX512

Přenos dat po sběrnici je realizován asynchronně. Sběrnice je v klidovém stavu na úrovni 1 a před začátkem přenosu je nutné provést nastavení Break, neboli Reset, do úrovně 0, které nám začátek přenosu synchronizuje. Break musí trvat minimálně dvojnásobek celého rámce, tudíž 88  $\mu\text{s}$ . Následně se provede MAB (Mark After Break), neboli synchronizační mezera jdoucí zpět do úrovně 1 a trvající 8  $\mu\text{s}$ . První poslaný rámec se nazývá startcode (startbyte) a za ním následuje 512 datových rámců. Rámec se skládá z 11 bitů. Prvním bitem je Start bit v úrovni 0, poté následuje 8 datových bitů a dva Stop bity v úrovni 1. První datový bit se nazývá LSB (Low Significant Bit) a poslední MSB (Most Significant Bit). Mezi jednotlivými rámci se může objevit i synchronizační mezera MTBF (Mark Time Between Frames) v úrovni 1 o délce 1 s. Totéž platí i o MTBP (Mark Time Between Packet), jež doplňuje synchronizační mezeru mezi pakety. Přenos paketů probíhá neustále, a tak tento úsek může značit začátek nového paketu. [10]

Časování v protokolu DMX512 lze vidět na obrázku 2.1 a k němu příslušné časové hodnoty v tabulce 2.1. Uvedené hodnoty v tabulce lze snadno ověřit. Při přenosové rychlosti 250 kBit/s můžeme převrácením této hodnoty dostat dobu trvání jednoho bitu, činící 4  $\mu\text{s}$ . Má-li rámec 11 bitů, tak jeho délka je 44  $\mu\text{s}$ . Lze i vypočítat minimální dobu trvání celého přenosu 512 datových bytů dosazením hodnot z tabulky č. 2.1 do rovnice č. 2.1, z čehož vyplývá maximální opakovací frekvence, převrácenou hodnotou  $t_p$  přibližně 44,12 Hz. [10][11]

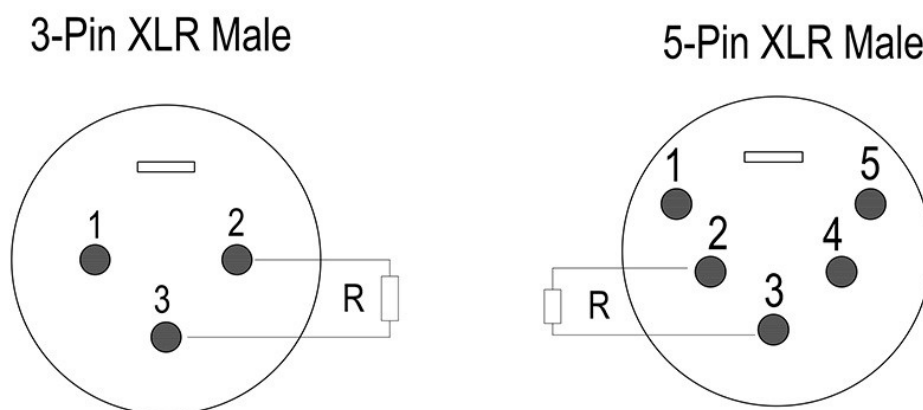
Na sběrnici se kromě zmíněných stavů mohou objevit i rušivé elementy. Jedním z nich

$$tp = \text{BREAK} + \text{MAB} + (1 + 512) \times \text{TIMESLOT} \quad (2.1)$$

je dlouhodobý výskyt vysoké napěťové úrovně po delší dobu, než je 1 s. Tato doba je dle normy brána jako výpadek signálu. Samotný protokol nijak neurčuje chování při výskytu a nechává řešení na připojených zařízeních. Mohou se například restartovat nebo udržovat poslední nastavení. Další rušivý element nastává krátkým pulzem, menším než 1 s, způsobený například zdrojem napájení, signálu nebo ve vedení. Jelikož zde není implementována zpětná vazba, tak celý DMX protokol umožňuje výskyt neočekávaných chyb. Z tohoto důvodu se tento protokol nedá použít například k odpalování pyrotechniky, kde by mohlo dojít k nečekanému spuštění. [10]

## 2.4 Zapojení sběrnice

K propojování sběrnic slouží XLR kabel, tedy symetrické aktivní datové vodiče se společným stíněním. Existují dva typy těchto kabelů, jako standard podle normy pro DMX se uvádí pětipinový XLR, avšak dnes se používá pouze třípinová verze. Třípinový XLR se používá i v audiotechnice k zapojování mikrofonů a jiných audio zařízení, proto jsou tyto kabely cenově dostupnější než pětipinová verze. Dle normy by měl vodič obsahovat impedanční přizpůsobení 120 Ω. Takový kabel je opět mnohonásobně dražší než standardní audio XLR, tudíž se místo impedančního přizpůsobení vodiče užívá terminátorů na straně vysílače a přijímače. Způsob připojování je klasická zásuvka a vidlice. [10]



Obr. 2.2 XLR 3-pin a 5-pin pinout []

Pin	Vodič	Signál
1	Stínění	GND/0 V
2	1. pár (black)	Data -
3	1. pár (white)	Data +
4 (nepoužívá se)	2. pár (green)	Data 2-
5 (nepoužívá se)	2. pár (red)	Data 2+

Tab. 2.2 Zapojení XLR

## 2.5 Přenos DMX přes IP síť

### 2.5.1 Art-Net

Art-Net je ethernetový protokol založený na TCP/IP protokolu, který umožňuje přenos jednoho či více DMX512 datových signálů skrz standardní ethernetovou síť. Obohacení možnostmi z TCP/IP protokolu dává DMX nový rozměr. Každý jeden DMX paket se nazývá universe. Současná verze Art-Netu je 4, dokáže přenášet maximálně 32 768 universes a lze připojit až 1000 DMX portů. Kromě velké přenosové kapacity, máme zde i komunikační obohacení. Přináší všesměrové vysílání, pomocí kterého se mohou dostávat data nejen do zařízení, ale i zpět a lze tak dostávat informace od připojených zařízení. Samotná zařízení lze také připojit do Art-Netu, napřímo skrz ethernetový kabel nebo bezdrátově s využitím přímého adresování. Art-Net obsahuje mnohem více možností (paketů), kterými lze spravovat připojená zařízení. [12]

O samotný DMX přenos se stará datový paket s názvem ArtDmx. Ten se používá vždy, když dochází k DMX vysílání, tedy nejen od řídicího pultu k zařízení, ale i mezi zařízeními a od zařízení k pultu. K obnovení vysílání dochází při změnách anebo každé 4 sekundy při neměnném výstupu. ArtDmx má určité specifikace, které je třeba dodržet. [12]



	Velikost	Popis
ID	Int8	8 znaků nesoucí nápis „Art-Net“
OpCode	Int16	Druh zasláního paketu
PortVer	Int16	Číslo veze Art-Net protokolu
Sequence	Int8	Pořadí paketu
Physical	Int8	Číslo fyzického vstupního portu
Universe	Int16	Adresa port pro daný paket
Length	Int16	Počet rámců v paketu 2-512
Data	Int8	Data jednotlivých rámců

Tab. 2.3 Obsah ArtDmx paketu

### 2.5.2 Wireless DMX

Jedná se o druhý možný způsob bezdrátového přenosu datových paketů DMX512, které jsou pomocí bezdrátových vysílačů a přijímačů přenášeny. Pro přenos se využívá veřejných nelicencovaných rádiových vln se standardní frekvencí 2,4 GHz. Tato frekvence bývá často využívána i v jiných přenosech, jako například Wi-Fi a bývá často zaneprázdněná. Dražší zařízení tedy umožňují sledovat okolí a při velkém zaneprázdnění přepnout na jiné frekvence jako jsou například 5,2 nebo 5,8 GHz. Vysílač nemusí komunikovat pouze s jedním přijímačem, ale může jich být více na stejné frekvenci a lze i použít vysílání více frekvencemi. Díky nízké ceně se jedná o dobrou náhradu místo natažení dlouhých DMX kabelů. [13]

## 3 Raspberry Pi

Raspberry Pi je série malých jednodeskových počítačů vyvinutá ve Velké Británii firmou Raspberry Pi Foundation společně s firmou Broadcom. Jedná se o jeden z nejprodávanějších britských počítačů. Za prosinec 2019 bylo prodáno přes 30 milionů desek s výrobními linkami ve Walesu, Číně a Japonsku. [15]

### 3.1 Historie Raspberry Pi

V roce 2006 se objevil první koncept Pi založený na Atmel ATmega644 mikrokontroléru. Správce nadace Eben Upton dal dohromady tým vysokoškolských akademiků a počítačových nadšenců s cílem vytvořit počítač, který by inspiroval děti v poznávání počítačů. Původně se jednalo o projekt, který měl pomoci v učení základů počítačové technologie ve školách a málo rozvinutých zemích. Avšak nízká cena, modularita a otevřený design učinil originální model populárním natolik, že se rozšířil po celém světě v mnoha oblastech, jako například robotika nebo monitorování počasí. První ARM prototyp byl stejně veliký jako USB flash disk, který měl na jedné straně USB port a na druhé HDMI port. Názvy počítačů jsou inspirovány firmou Arcon Computers, konkrétněji modelem BCC Micro a jeho dalšími variantami. Název „Raspberry Pi“ vznikl spojením jména „Raspberry“, které vzniklo tradičním pojmenováním ranných počítačových firem po ovoci a názvu „Pi“ odkazující na programovací jazyk Python. [15]

### 3.2 Rozdělení modelů a jejich hardware

Raspberry Pi nabízí několik typů modelů v různých cenových kategoriích. [15]

- Původní Raspberry Pi 1

Úplně první Raspberry Pi se jmenovalo Model B a byl poprvé uveden na trh v únoru 2012 za cenu 35\$. Velikostně se podobal rozměrům kreditní karty. Obsahuje procesor BCM2835 z rodiny ARM Cortex-A6 od firmy Broadcom taktovaný na 700 MHz, operační paměť 256 MiB RWM sdílená s grafickým procesorem VideoCore IV, podporující rozlišení až 1080p30. Obrazový výstup je realizován pomocí RCA, HDMI, DSI a zvukový výstup 3,5 mm konektorem nebo HDMI. Mezi další výstupy výstupu bylo 2 x USB, ethernetový adaptér s konektorem RJ-45 nebo slot na SD kartu. Nesmí se také zapomenout na externí výstup pro další připojitelné desky pomocí 34 pinového GPIO (General purpose input output) konektoru, který v sobě obsahuje komunikační protokoly I2C, SPI a UART. [15]

O rok později, v únoru, se představil odlehčený Model A s cenovkou 25\$, který měl kromě jednoho USB a chybějícího ethernetového konektoru stejné parametry jako Model B.

V Červenci roku 2014 se představil vylepšený Model B+, nabízející dvojnásobnou operační paměť 512MiB, 4xUSB, MicroSD slot a 40 pinový GPIO. V listopadu přišel Model A+, který dostal vylepšení v podobě MicroSD slotu a také 40 pinové GPIO. [15]

- Raspberry Pi 2

Do prodeje byl uveden v únoru 2015 jako 2 Model B. Zde dochází k osazení lepšího procesoru BCM2836 z rodiny ARM Cortex-A7 opět od firmy Broadcom, obsahující 4 jádra taktovaná na 900 MHz a 1 GiB paměti RAM. Grafický procesor zůstává stejný jako B+ a stejně tak všechny výstupy/vstupy. Jeho pozdější verze 2 Model B 1.2 nabízí již 64bitový 4 jádrový procesor z řady ARM Cortex-A53 taktovaný na 1,2 GHz. [15]

- Raspberry Pi Zero

V listopadu 2015 byl uveden počítač s názvem Zero a s cenou 7\$. Jedná se o zmenšenou verzi Modelu B+, ze kterého specifikacemi vychází. Zde oproti němu ztrácí ethernetový port, veškeré video-audio výstupy jsou nahrazeny Mini-HDMI a USB výstup nahrazující micro USB. Změnilo se zde také GPIO připojení, které zde nemá piny ale pouze THT otvory pro pájení. Další verze s názvem Zero W přináší zabudovanou Wi-Fi a Bluetooth. Poslední verze Zero WH nabízí opět GPIO piny. [15]

- Raspberry Pi 3

Představen v únoru 2016 opět jako 3 Model B, s procesorem z původního 2 Model B. Vylepšuje tedy Model B o zabudování Wi-Fi a Bluetooth. O 2 roky později se objevuje 3 Model B+, který obohacuje Pi o 1,4 GHz taktovaný procesor BCM2837, gigabitový ethernet (s maximální rychlostí cca 300 Mbit/s kvůli USB 2.0) a s 2.4 / 5 GHz dvoupásmovou Wi-Fi. Přidává také další možnosti jako POE (Power over Ethernet). [15]

- Raspberry Pi 4

Spuštěn v červenci roku 2019 s 1,5 GHz 64bitovým čtyřjádrovým procesorem BCM2711 z rodiny ARM Cortex-A72, možností 1-8 GiB operační paměti RAM, Bluetooth

5, gigabitovým ethernetem s plnou rychlostí, 2x USB 3.0, duálním monitorem přes micro HDMI s podporou rozlišení až 4 K a napájeným z USB C. [15]

- Raspberry Pi 400

Představen v roce listopadu 2020, přebírá DPS z Raspberry Pi 4 a vkládá jí do speciálně upravené klávesnice. Došlo zde také na přidání chladicího systému, který umožnil nataktovat procesor BCM2711 na 1,8 GHz se 4 GB RAM. [15]

- Raspberry Pi Pico

Oznámený počítač v lednu 2021, představuje nyní to nejlevnější a nejmenší řešení z Raspberry Pi s cenou 4\$. Jedná se o první desku s mikrokontrolérem RP2040, který je designován samotným Raspberry Pi. Pico má 264 KB RAM a 2 MB flash paměti. Jedná se o spolupráci s ostatními výrobci jednodeskových počítačů, jako je např. Arduino, k výrobě dalších periférií pro Pico a rozšíření RP2040 Silicon do více desek. [15]

### 3.3 Software

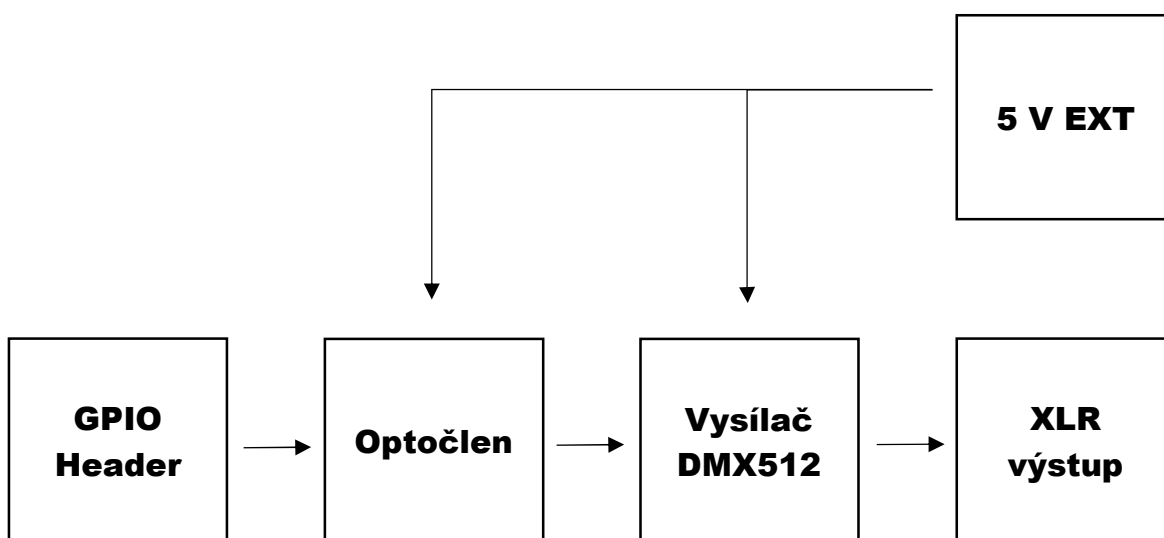
Na Raspberry Pi lze nainstalovat různé množství operačních systémů. Tím základním, od Raspberry Pi se nazývá Raspberry Pi OS nebo také jako Raspbian. Do Pi lze stáhnout i řadu jiných operačních systémů pracujících na ARM architektuře, jako například Debian, založený na Linuxu, Ubuntu, Windows 10 IoT Core, RISC OS, LibreELEC a spousta dalších systémů, například pro multimediální centra, pro hraní starých videoher a podobné. Jako hlavní programovací jazyk slouží Python a Scratch, ale podporu zde má i spousta ostatních jazyků. V prvním Raspberry Pi však není možné spustit kromě Raspbian žádné další alternativní operační systémy. [15]

## 4 Návrh DMX kontroleru

Cílem této práce má být systém posílající DMX signály pro plynulé rozsvěcování a zhasínání světel, případně nastavení různých scén. Celý tento systém má být ovládán pomocí TCP/IP příkazů, proto se v této práci použije Raspberry Pi, které tyto příkazy přijme a odešle příslušné povely skrz GPIO k DMX modulu, jenž převede signál na DMX512.

## 4.1 Schéma

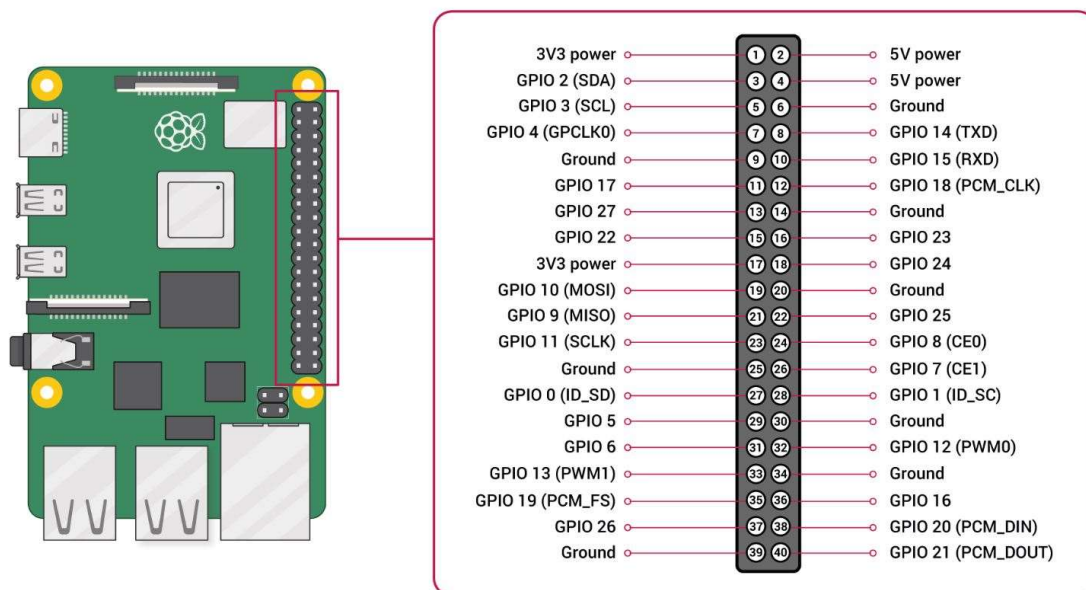
Schéma bylo převzato ze stránky [16] a jeho plnou verzi naleznete v příloze A. Zde jsem provedl zjednodušení ve formě blokového schématu a jak lze vidět, celé schéma je velice jednoduché. Do převzaté verze se ještě přidalo pár úprav, jako je blokovací kondenzátor 100 nF nacházející se u přívodu napájení k vysílači MAX485 nebo jumpery pro možnost odpojení zakončovacích, pull-up a pull-down rezistorů. Jednotlivé bloky budou popsány dále v textu.



Obr. 4.1 Blokové schéma DMX kontroleru

### 4.1.1 GPIO header a RPi

Námi vybrané Raspberry Pi je 1 Model B+, které má 40x GPIO pinů. V převzatém schématu používají trochu jiný model Raspberry Pi Pico mající též 40x GPIO pinů, ale v jiném rozmístění, tudíž se ve schématu musel změnit pinout. Náš kontrolér bude užívat ke komunikaci sériový přenos, konkrétněji UART, tudíž se musí zapojit na správné piny. K sériové komunikaci používá RPi piny TXD a RXD. Jak lze vidět na obrázku 4.2, v našem konkrétním návrhu se jedná o GPIO 14 ležící na pinu číslo 8 a GPIO 15 ležící na pinu 9. K napájení vstupní části se užívá 5 V vývod z RPi (piny 2 a 4). Z RPi vede ještě jeden výstup k DMX kontroleru a to GPIO 23 na pinu číslo 23, sloužící k aktivaci převodníku. [16]



Obr. 4.2 GPIO pinout Raspberry Pi 1 Model B+[16]

#### 4.1.2 Napájení kontroleru

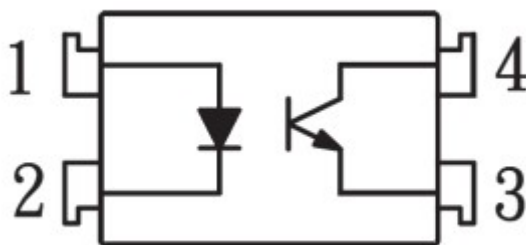
Napájení DMX kontroleru je rozděleno na vstupní a výstupní část, přičemž jsou tyto části galvanicky oddělené. O napájení vnitřní části se stará samotné Raspberry Pi, které přivádí 5 V napětí na vstup optočlenu. Výstupní část je napájena z externího napětí, také o hodnotě 5 V, a přivádí napětí na výstupy optočlenu a vysílač MAX485. Důvod pro externí napájení je galvanické oddělení vstupních a výstupních částí.

#### 4.1.3 Galvanické oddělení

Galvanické oddělení hraje při převodu signálu na standart DMX důležitou roli, má zde více uplatnění a je realizováno ve více formách. Objevuje se zde riziko zemních smyček, dále hraje roli rozdílné dotykové napětí a vyrovnávací proudy, které mohou vysílací a přijímací zařízení zničit. [17][18]

Existuje více možností, jak lze sběrnici galvanicky oddělit. Například existují převodníky, které mají galvanické oddělení implementované na jednom čipu. Další realizace galvanického oddělení může být skrz kapacitní vazbu, která je vhodně umístěna tak, že proud přes ní teče při skokové změně napětí. Toto řešení není úplně nejlepší, protože se v podstatě o galvanické oddělení nejedná. Jako nejlepší varianta se nabízí oddělení pomocí optočlenů, též nazývaných jako „světelná závora“ nebo „optoizolátor“. Jedná se o součástku využívající

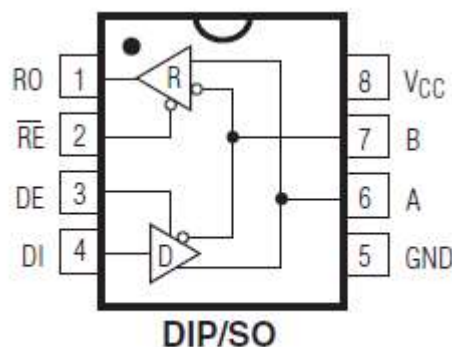
fotoelektrického jevu, při kterém dochází k výměně energie mezi dopadajícím fotonem a fotocitlivou látkou. V té dochází k excitaci elektronů, které se poté podílejí na elektrické vodivosti. V případě optočlenu tato dvojice tvoří infračervená luminiscenční LED, jako zdroj světla a jako detektor fototranzistor, ale mohou se objevovat prvky jako fotodioda a fototyristor. Mezi zdrojem světla a detektorem se nachází izolované prostředí, pomocí kterého je optočlen odolný proti vlivům vnějšího prostředí. V digitálním prostředí je optočlen užit k přenosu dvou úrovní signálu, tudíž pracuje jako spínač. Fototranzistor se otevírá podle proudu, procházejícího diodou, který otevře přechod mezi emitorem a kolektorem a sepne obvod na výstupu. Z toho důvodu je potřeba přivést 5 V napájecí napětí jak na vstup, tak i na výstup optočlenu. [17][18]



Obr. 4.3 Schéma optočlenu

#### 4.1.4 Vysílač MAX485

Jak je výše zmíněno, tak ke komunikaci mezi Raspberry Pi a DMX kontrolérem se bude užívat výstup z RPi pro sériovou komunikaci UART. UART vycházející z RPi je založen na 3,3 V nebo 5 V úroňové tranzistorové logice (TTL) se signálem TXD a RXD. Tyto vycházející signály vedou z RPi do diferenciálního linkového vysílače MAX485 na piny DI a RO. Výstupem vysílače jsou dva diferenciální signály o dvou vodičích s názvem A a B. Příjímač na konci tohoto vedení pak porovná rozdíl mezi těmito dvěma signály. Jde tedy o trochu jiný přístup, než u klasického přenosu, jako je například u standardu RS-232, který používá porovnávání absolutní hodnoty signálu vůči signálové zemi. V kombinaci s Twistedpair kabelem je tento diferenční signál mnohem více odolný vůči vnějším vlivům a díky němu ho můžeme přenášet na vzdálenost až 1200 metrů. Dvou vodičové zapojení umožňuje pouze poloduplexní komunikaci, tudíž zařízení připojené na sběrnici musí mít obousměrné buzení linek pomocí třístavových členů, které jsou řízeny signály DE a RE. V našem konkrétním případě se bude vysílat pouze jedním směrem, tudíž se zde nemusíme zabývat řídicími signály. [19][20][21]



Obr. 4.4 Pinout vysílače MAX485

#### 4.1.5 Výstup DMX512

Výstup z vysílače, označený jako vodič A a vodič B je poté vedený na XLR konektor, ale ještě před výstupem musí dojít k impedančnímu přizpůsobení vůči nežádoucím odrazům na lince, které by mohly způsobovat chyby v přenosu. Toto impedanční přizpůsobení, jinak nazýváno terminátory, musí být i na konci sběrnice, tudíž i u přijímače. Dále se musí zajistit správné napěťové úrovně na sběrnici při odpojení všech vysílačů, tudíž se užívá zakončovací impedance definující klidový stav. Bez definovaného klidového stavu by na sběrnici mohl vzniknout šum, který by přijímač detekoval. Tyto odpory se běžně nazývají jako pull-up a pull-down rezistory. Pokud by se vysílač nacházel blízko dalšího vysílače, tak se o tyto zakončovací impedance stará poslední připojený vysílač. Z tohoto důvodu jsou v tomto návrhu implementovány jumpery, který tyto impedance odpojí od sběrnice. Odpojování impedance, v tomto případě jenom terminátoru, se užívá i v případě, kdy je přijímač vzdálený pouze pár metrů. [19][20][21]

## 4.2 DPS

Návrh desky plošných spojů se nachází v přílohách B, C a D. Z návrhu je patrné, že připojení desky k Raspberry je zde provedeno pomocí 40 pinového headeru, a nikoliv přímo vodiči. Ten byl zvolen hlavně kvůli celé stabilitě desky. Té pomáhají čtyři konstrukční díry, které jsou spolu s headerem dimenzovány shodně jako na Raspberry Pi 1 Model B+ a umožňují spojit desku a Pi. Kvůli výšce USB a ethernet konektorů je DPS navržena tak, aby svými rozměry do této části nezasahovala. Nachází se zde také fyzická XLR zásuvka pro připojení XLR kabelu a také horizontální pevná koncová svorka se dvěma vstupy pro externí napájení. Dříve zmíněné galvanické oddělení vstupní a výstupní části je zde provedeno i jako fyzické oddělení těchto částí. To je provedeno pomocí izolačního příkopu, což znamená



absenci vodičů ve všech vrstvách desky, ve výsledku má vstupní a výstupní část svoji vlastní rozlitou měď (GND), která je rozdělena uprostřed optočlenů. Při tomto návrhu se předpokládá s jednostrannou deskou, tudíž se kvůli možnosti pájení museli otočit SMD součástky na spodní stranu DPS i spolu s vodivými cestami. [22]

### 4.3 Ovládání kontroleru

Software pro Raspberry Pi by se dal rozdělit do dvou částí, a to, příjem TCP/IP paketů do Pi a pak následný výstup podle příjmu skrz UART komunikaci do kontroléru. Ukázky programu zde budou v jazyce C++.

#### 4.3.1 Příjem TCP/IP paketů

TCP/IP přenos vzniká užitím protokolu IP a TCP dohromady. IP protokol slouží ke vzájemné komunikaci mezi dvěma zařízeními probíhající pomocí paketů. Ten má svoji hlavičku a data, která přenáší s určitou IP adresou. IP adresa je většinou ve formě textového řetězce, který se překládá pomocí DNS serverů. Proti tomu TCP protokol se stará o komunikaci dvou aplikací, které komunikují skrz IP protokol. Před začátkem přenosu se nejdříve navazuje spojení a při ukončení se musí spojení zavřít, TCP paket je po navázání spojení vložen do paketu IP a přenášen po síti. Každá aplikace má svůj TCP port, který lze chápat jako „adresu“ aplikace v počítači. Při TCP spojení se tedy užívá IP adresy a TCP portu, který nám určí konkrétní aplikaci v konkrétním počítači. TCP vysílání má vždy dvojitý charakter, a to je buď server, který vysílá data a klient, který data přijímá. V našem konkrétním případě se jedná o funkci klienta, který přijímá pakety ze serveru. Ukázka daného programu, vzata z internetové stránky [24] se nachází v příloze E. [23][24]

#### 4.3.2 UART výstup

Raspberry Pi přečte jednotlivá přijímaná data skrz TCP protokol a podle nich vyšle dané povely skrz sériový výstup UART na PI. Nejdříve je zapotřebí daný port na Raspberry Pi povolit, to se dělá přímo v samotném Pi skrz okno terminálu. Python je hlavní programovací jazyk pro Raspberry Pi, tudíž má sám o sobě přístup k mnoha knihovnám, speciálně pro PI. V jazyce C++ tyto knihovny chybí, tudíž se musí implementovat speciální knihovnu k navázání UART komunikace. Ukázka otevření UART komunikace je vzata z internetové stránky [25] a nachází se v příloze F. Poslední, co zbývá vyřešit, je samotné vytvoření posílaných dat. Z kapitoly 2.3 je patrné, jak by měla vypadat data posílaná přes UART. [25]

## Závěr

Tato práce pojednává o problematice scénického osvětlení a způsobu jejího ovládání. Výsledkem je návrh DMX modulu připojitelného na Raspberry Pi, které má být využito k ovládání světel pro malé kino. Navrhovaný modul umožňuje i více implementací, než je kino. Příkladem může být domácí osvětlení, svícení barů, hospod, menších divadel, diskoték nebo rozsáhlé vánoční osvětlení domů. Převzaté schéma bylo upraveno pro možnosti odpojení zakončovacích rezistorů, což umožní připojit více těchto zařízení ke sběrnici za sebou. Deska plošných spojů je navržena tak, aby se dala s Raspberry Pi pevně spojit headerem a s pomocí konstrukčních otvorů připevnit k sobě. V softwarové části je nastíněn postup, jakým způsobem probíhá otevření socketu v Raspberry Pi, příjmu paketů přes IP síť a způsob otevření a posílání dat skrz sériový port UART.

Jako nevýhodu tohoto návrhu vidím hlavně v nerealizaci konečného zařízení. Jelikož jsou předpokládáné ovládané periferie v kině neznámé, nelze přesně sepsat software k jejímu ovládání. Není znám počet kanálů ani požadované efekty či scény pro naprogramování. To vyžaduje konečnou realizaci, která je pro odladěný software klíčová. Další nevýhodou je nutnost TCP/IP serveru, ze kterého se budou vysílat TCP/IP pakety pro řízení. Tato nevýhoda nastává při jiné implementaci, než je výše zmiňované kino, jelikož to TCP/IP server obsahuje. Pravda ovšem je, že se použité ovládání přes TCP/IP nemusí používat a může se využít jiných možností, které Raspberry Pi nabízí.

Výhodu navrženého zařízení vidím ve snadné realizaci modulu. DPS je jednostranná, tudíž lze vytvořit na elektrotechnické fakultě ZČU. Pomocí Raspberry Pi se ulehčil nejen samotný návrh zařízení, který by byl výrazně složitější, ale i komunikace směrem k navrhovanému modulu. Použití Raspberry Pi rozšiřuje i možnosti v ovládání.

Jedním z nich je například plugin OLA, neboli Open Lighting Architecture. Tento plugin je k dispozici k nainstalování na Raspberry Pi a umožňuje spravovat DMX signály bez nutnosti dalšího programování. Ovládání probíhá pomocí webové aplikace, ke které se dá připojit skrz IP adresu. Webová aplikace je přímo určená k ovládání světel, tudíž na ní nalezneme vizuální přehled všech kanálů, do kterých se dají nahrát již nakonfigurované

efekty nebo ovládat napřímo skrz virtuální potenciometry. OLA plugin podporuje v Raspberry Pi sériové výstupy pro UART i SPI.

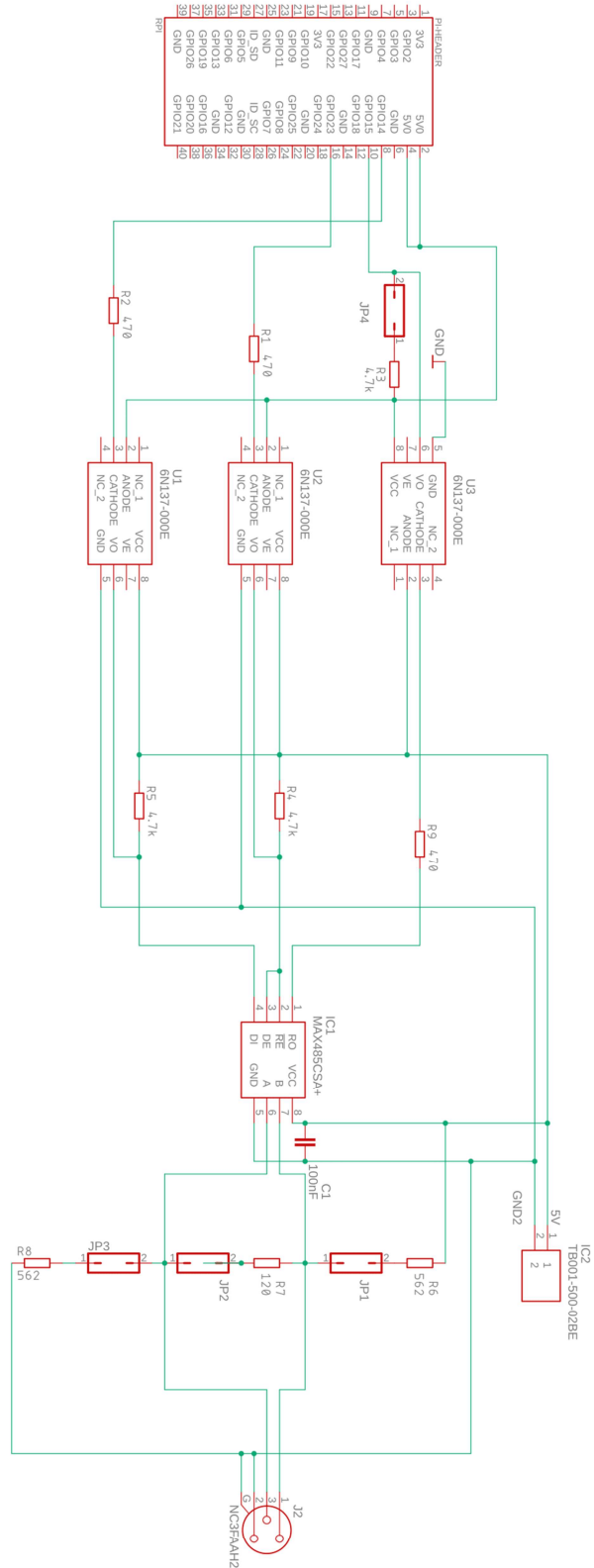
Další postup vidím v samotné realizaci hardwaru a softwaru, tudíž výroba desky plošných spojů a následné osazení součástkami. Poté již bude možné otestovat komunikaci mezi Raspberry Pi a DMX modulem. K plnému vytvoření a otestování softwaru bude zapotřebí i nějaké reálné osvětlení, komunikující skrz DMX nebo osciloskop, ke změření správnosti signálu. V případě implementace v kině bude nejdříve nutné stanovit, co mají určitá světla dělat a podle toho nastavit Raspberry Pi, případně přednastavit různé scény pro zvolené osvětlovací situace. Také bych celé zařízení (Raspberry + DMX modul) umístil do nějakého předem navrženého a předem vyrobeného obalu.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

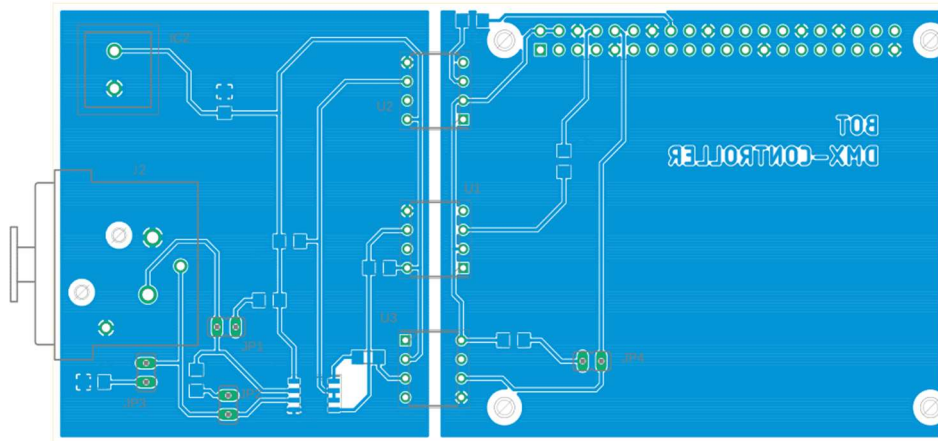
- [1] Hloušek Petr. KAE-ZST/UST Přednáška: Optické komunikace [online]. 2020 [cit. 2021-05-22]. Dostupné z: <https://classroom.google.com/u/1/c/MTY5MDQxOTYxOTkw/m/MjA5MTc0NjQxNDI5/details>
- [2] Khan Academy: Light: Electromagnetic waves, the electromagnetic spectrum and photons [online]. [cit. 2021-5-22]. Dostupné z: <https://www.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>
- [3] Divadlo technika. [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné z: <http://www.divadlo-technika.cz/index.php/sviceni/>
- [4] Theatrecrafts: Lighting [online]. [cit. 2021-5-22]. Dostupné z: <https://www.theatrecrafts.com/pages/home/topics/lighting/>
- [5] Světlo: Časopis pro světlo a osvětlování. : Současné scénické osvětlení. Praha: FCC PUBLIC, 03/2002 [cit. 2021-5-22]. ISSN 1212-0812.
- [6] Ellipsoidal Reflector Spotlights [online]. [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://www.kennedy-center.org/globalassets/education/resources-for-educators/classroom-resources/artledge/media/gear/ers/ers-cmy-169.jpg>
- [7] ASYMETRICKÉ PLOŠNÉ SVÍTIDLO AHR 500 [online]. [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: [https://www.wdlux.cz/upload/image/79767/418\\_4/ahr-500.jpg](https://www.wdlux.cz/upload/image/79767/418_4/ahr-500.jpg)
- [8] SYMETRICKÉ PLOŠNÉ SVÍTIDLO [online]. [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/originals/e8/e1/84/e8e18421d2e428a1f2c6563785b43849.jpg>
- [9] SAYER, Rob. On Stage Lighting: DMX PC Lighting Software – Cheap Stage Light Controllers [online]. 4. 10. 2007 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <http://www.onstagelighting.co.uk/lighting-equipment/stage-lighting-control/dmx-lighting-software-cheap-stage-light-controllers/>
- [10] SOH, Teorie: Protokol DMX512 [online]. Praha: SOH svět očima hudby, 2016 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <http://www.soh.cz/podpora/teorie>
- [11] Tajned: Protokol DMX512 [online]. [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <http://www.tajned.cz/2013/10/protokol-dmx512/>
- [12] Art-Net 4: Specification for the Art-Net 4 Ethernet Communication Protocol [online]. 1. 2. 2021 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://artisticlicence.com/WebSiteMaster/User%20Guides/art-net.pdf>
- [13] FAILS, Gary. City Theatrical: What You Need To Know About Wireless DMX [online]. 1. 2. 2021 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://www.citytheatrical.com/docs/default-source/pdfs/what-you-need-to-know-about-wireless-dmx>

- [14] Wikipedia: Raspberry Pi [online]. 21. 5. 2021 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [15] Electrical Engineering Stack Exchange: How to interface a RPi Pico to DMX / RDM [online]. 11. 2. 2021 [cit. 2021-5.-23]. Dostupné z: <https://electronics.stackexchange.com/questions/547666/how-to-interface-a-rpi-pico-to-dmx-rdm>
- [16] Raspberry Pi: GPIO [online]. 5. 10. 2020 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>
- [17] Publi, Kvantová fyzika: Jevy potvrzující částicový charakter elektromagnetického záření [online]. [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/270/03.html>
- [18] SKÁCELOVÁ, Dana. Informační systém Masarykovy univerzity: Optoelektrické vazební členy - Optočleny [online]. 26. 5. 2015 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2015/F2400/um/Optoclen.pdf>
- [19] EG, Projects. Engineers Garage: Rs485 Serial Communication Between Arduino Mega and Arduino Pro Mini [online]. 26. 8. 2019 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/arduino/rs485-communication-between-arduino-mega-and-arduino-pro-mini/>
- [20] Tedia: Obecné vlastnosti komunikačních prostředků [online]. 30. 11. 2018 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://www.tedia.cz/podpora/komunikace-obecne-vlastnosti.html>
- [21] Future Technology Devices International Ltd.: What is a UART? [online]. 7. 8. 2009 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: [https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/08/TN\\_111-What-is-UART.pdf](https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/08/TN_111-What-is-UART.pdf)
- [22] VLČEK, Jiří. TZB-info: Odrušení plošných spojů [online]. [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: [https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000107\\_odruseni\\_plosnych\\_spoju.pdf](https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000107_odruseni_plosnych_spoju.pdf)
- [23] Builder: TCP klient v MS Windows [online]. 3. 1. 2003 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://www.builder.cz/rubriky/c--/tcp-klient-v-ms-windows-156205cz>
- [24] REGO, pvrego. GitHub: Sockets in C/C++ for Raspberry Pi [online]. 15. 4. 2020 [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://github.com/Mad-Scientist-Monkey/sockets-ccpp-rpi#appendix-1>
- [25] Electronic Wings: Raspberry Pi UART Communication using Python and C [online]. [cit. 2021-5.-22]. Dostupné z: <https://www.electronicwings.com/raspberry-pi/raspberry-pi-uart-communication-using-python-and-c>
- [26] KUSALA, Jaroslav. ČEZ: Lasery kolem nás [online]. 2004 [cit. 2021-5.-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.ht>

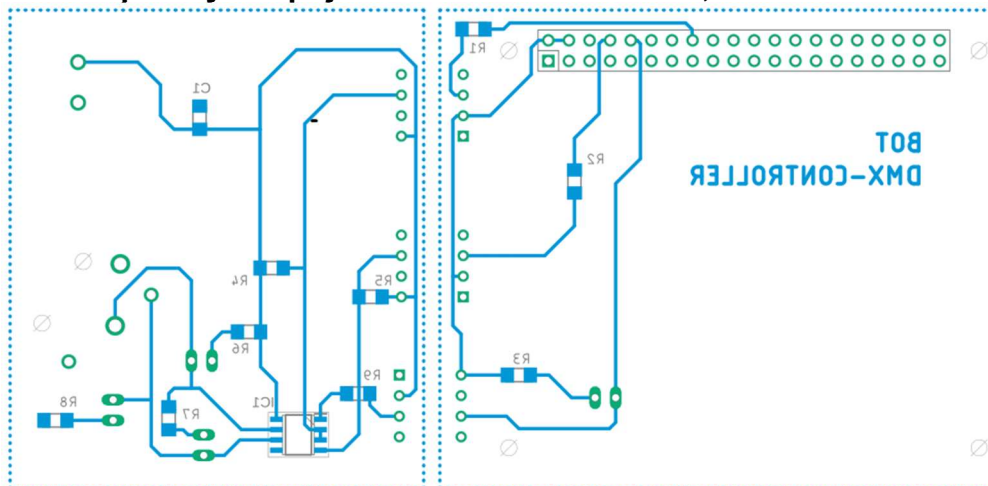
### A. Schéma zapojení DMX kontroleru



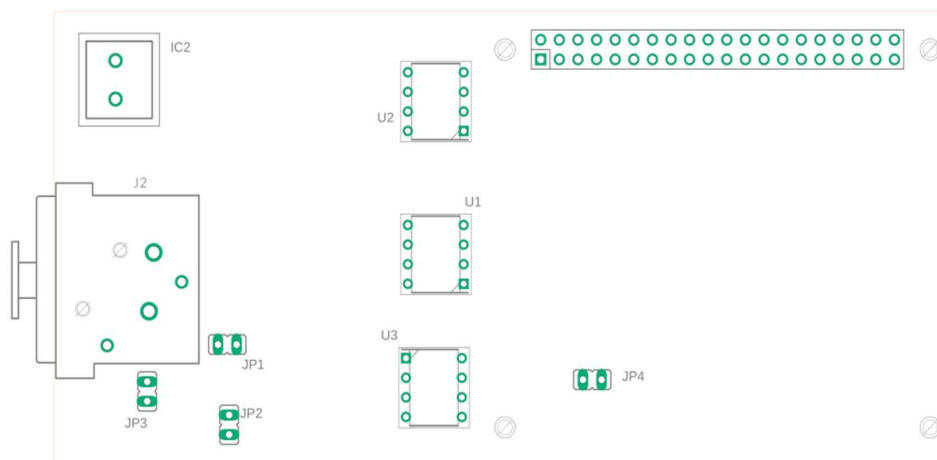
## B. Deska plošných spojů s rozlitou mědí



## C. Deska plošných spojů s osazením součástek, TOP



## D. Deska plošných spojů s osazením součástek, BOT



## E. TCP/IP klient

```
#include<stdio.h>
#include<string.h> //strlen
#include<sys/socket.h>
#include<arpa/inet.h> //inet_addr

int main(int argc , char *argv[]){
    int socket_desc;
    struct sockaddr_in server;
    char *message;

    //Create socket
    socket_desc = socket(AF_INET , SOCK_STREAM , 0);
    if (socket_desc == -1) printf("Could not create socket");

    server.sin_addr.s_addr = inet_addr("74.125.235.20");
    server.sin_family = AF_INET;
    server.sin_port = htons(80);

    //Connect to remote server
    if (connect(socket_desc , (struct sockaddr *)&server , sizeof(server)) < 0){
        puts("connect error");
        return 1;
    }

    puts("Connected\n");

    //Send some data
    message = "GET / HTTP/1.1\r\n\r\n";
    if( send(socket_desc , message , strlen(message) , 0) < 0){
        puts("Send failed");
        return 1;
    }
    puts("Data Send\n");

    return 0;
}
```



## F. UART komunikce

```
/*
    UART communication on Raspberry Pi using C (WiringPi Library)
    http://www.electronicwings.com
*/

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <errno.h>
#include <wiringPi.h>
#include <wiringSerial.h>

int main ()
{
    int serial_port ;
    char dat;
    if ((serial_port = serialOpen ("/dev/ttyS0", 9600)) < 0)    /* open serial port */
    {
        fprintf (stderr, "Unable to open serial device: %s\n", strerror (errno)) ;
        return 1 ;
    }

    if (wiringPiSetup () == -1)                                /* initializes wiringPi setup */
    {
        fprintf (stdout, "Unable to start wiringPi: %s\n", strerror (errno)) ;
        return 1 ;
    }

    while(1){

        if(serialDataAvail (serial_port) )
        {
            dat = serialGetchar (serial_port);                /* receive character serially*/
            printf ("%c", dat) ;
            fflush (stdout) ;
            serialPuchar(serial_port, dat);                    /* transmit character serially on
port */
        }
    }
}
```