

**ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE**  
**ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA**  
Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

28260120181040

**RIADENIE SVETELNÉHO PARKU**

**2018**

**Martin Timko**

**ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE**  
**ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA**  
KATEDRA MULTIMÉDIÍ A INFORMAČNO-KOMUNIKAČNÝCH  
TECHNOLÓGIÍ

**RIADENIE SVETELNÉHO PARKU**

**BAKALÁRSKA PRÁCA**

Študijný program: Multimedialne technológie

Študijný odbor: 5.2.15 Telekomunikácie

Vedúci bakalárskej práce: doc. Ing. Martin Vaculík, PhD.

Pracovisko vedúceho práce: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Konzultant: -

Pracovisko konzultanta: -

**Žilina, 2018**

**Martin Timko**



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE  
Elektrotechnická fakulta  
Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Akademický rok 2017/2018

## ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Meno, priezvisko: **Martin Timko**  
Študijný odbor: **telekomunikácie**  
Študijný program: **multimediálne technológie**  
Téma bakalárskej práce: **Riadenie svetelného parku**

### Pokyny na vypracovanie bakalárskej práce:

1. Urobte analýzu osvetľovacích technológií používaných v súčasnosti.
2. Analyzujte konštrukčné časti jednotlivých svietidiel a špecializovaných projekčných svetelných zariadení.
3. Analyzujte riadiace protokoly na ovládanie pódiovej svetelnej techniky s dôrazom na moderné spôsoby prenosu riadiacich údajov.
4. Analyzujte ovládacie zariadenia a spôsoby ich programovania
5. Navrhňte riešenie mostu, ktorý bude multiplexovať aspoň dva zdroje DMX ovládacích dát do spoločného toku.

Vedúci bakalárskej práce: Vaculík Martin, doc. Ing. PhD., Katedra multimédií  
a informačno-komunikačných technológií, EF, UNIZA

Dátum odovzdania bakalárskej práce: 05.06.2018

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE  
ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA  
Katedra multimédií  
a informačno-komunikačných technológií  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

prof. Ing. Róbert Hudec, PhD.  
vedúci katedry

V Žiline dňa 23. 10. 2017

# Abstrakt

TIMKO, Martin: Riadenie svetelného parku [Bakalárska práca]. – Žilinská univerzita v Žiline. Elektrotechnická fakulta; Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií. – Vedúci práce: doc. Ing. Martin Vaculík, PhD. Stupeň odbornej kvalifikácie: Bakalár. – Žilina: EF UNIZA, 2018. 76s.

Práca analyzuje technológie používané na osvetľovanie koncertov, rôznych spoločenských akciách, v divadlách, televíznej produkcii a podobne. Na túto problematiku sa práca zameriava jednak z technického hľadiska a jednak z pohľadu používateľa. Širokým záberom popisuje úvod do problematiky osvetľovania a riadenia svetelnej a pódiovej techniky. Venuje sa rozdeleniu svetelných zariadení, ich vnútornej konštrukcii, spôsobom ich ovládania a protokolom, ktoré to zabezpečujú. Dôraz je kladený na protokol DMX512 a protokol RDM, ktorý je jeho modernou nadstavbou rozširujúcou ho o nové funkcie. Praktickou časťou je vytvorenie zariadenia – DMX512 mosta, ktorý multiplexuje viacero zdrojov signálu do jednej linky. Jeho softvér môže slúžiť ako dobrý podklad pre iné projekty pracujúce s protokolom DMX512.

Kľúčové slová:

osvetľovanie, osvetlenie, svetelná technika, divadlo, DMX512, RDM, rotačná hlava

# Abstract

TIMKO, Martin: Lighting park control [Bachelor Thesis]. – University of Žilina. Faculty of Electrical Engineering; Department of Multimedia and Information and Communication Technology. – Supervisor: doc. Ing. Martin Vaculík, PhD. Degree of professional qualification: Bachelor. – Žilina: EF UNIZA, 2018. 76s.

The thesis analyzes the lighting technologies that are on concerts, various social events, theaters, TV productions and so on. The thesis looks at that subject from both a technical point of view and from the perspective of the user. In the wide-range it describes an introduction to lighting and control of lights and stage technologies. It is devoted to division of lighting devices, their internal components, to the ways they are operated and to the protocols that ensures it. Emphasis is placed on the DMX512 protocol and on the RDM protocol, what is his modern extension that extends it for new possibilities. The practical part is the creating of the DMX512 bridge, which are multiplexing multiple signal sources into single line. Its software can serve as a good basis for other projects working with a DMX512.

Key words:

illuminating, lighting, lighting fixtures, theater, DMX512, RDM, moving head

## ANOTAČNÝ ZÁZNAM – BAKALÁRSKA PRÁCA

**Meno a priezvisko:** Martin Timko

**Akademický rok:** 2017/2018

**Názov práce:** Riadenie svetelného parku

**Počet strán:** 76

**Počet obrázkov:** 47

**Počet tabuliek:** 4

**Počet grafov:** 0

**Počet príloh:** 7

**Počet použ. lit.:** 26

### **Anotácia v slovenskom jazyku:**

Cieľom práce je popísať spôsoby ovládania osvetľovacích zariadení po technickej aj užívateľskej stránke. Obsahom zahŕňa tiež prehľad protokolov používaných v tejto súvislosti a vysvetlenie funkčnosti najpoužívanejšieho protokolu DMX512. Praktickou časťou je vytvorenie mostu DMX512 signálu, ktorý spája signál z dvoch zdrojov do jednej linky.

### **Anotácia v anglickom jazyku:**

The purpose of this Bachelor thesis is describing of the ways of controlling the lighting devices from both technical and user points of view. The content also includes an overview of the protocols used in this context and explaining the functionality of the most widely used protocol, DMX512. The practical part is to create a DMX512 signal bridge that joins the signals from two sources into single line.

### **Kľúčové slová:**

osvetľovanie, osvetlenie, svetelná technika, divadlo, DMX512, RDM, rotačná hlava

**Vedúci bakalárskej práce:** doc. Ing. Martin Vaculík, PhD.

**Konzultant:** -

**Recenzent:** \_\_\_\_\_

**Dátum odovzdania práce:** 05. júna 2018

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	Typy svetelných zariadení .....	2
<b>2</b>	<b>VNÚTORNÁ KONŠTRUKCIA ZARIADENÍ .....</b>	<b>6</b>
2.1	Napájací elektrický zdroj .....	6
2.2	Riadiaca elektronika .....	6
2.3	Svetelný zdroj .....	7
2.3.1	Halogénová žiarovka .....	7
2.3.2	Plynová výbojka .....	7
2.3.3	LED zdroje .....	8
2.3.4	Stroboskopické výbojky .....	8
2.4	Záverkový mechanizmus (Shutter) .....	9
2.5	Farebné filtre (Color) .....	10
2.5.1	Dichroické sklá .....	10
2.5.2	Gradientné RGB/CMY .....	10
2.6	Gobo vzory (Gobo) .....	11
2.7	Clonový mechanizmus (Iris) .....	12
2.8	Rámovací mechanizmus .....	13
2.9	Optický hranol (Prizma) .....	13
2.10	Matný filter (Frost) .....	14
2.11	Optika .....	14
2.12	Transfokačný mechanizmus (Zoom) .....	15
2.13	Zaostrovací mechanizmus (Focus) .....	15
2.14	Pohybové mechanizmy .....	16
2.15	Tepelný štít a ventilátory .....	16
<b>3</b>	<b>OVLÁDACIE PROTOKOLY .....</b>	<b>18</b>
3.1	Analógové riadenie 0-10V .....	18
3.2	D54, AMX-192 .....	18
3.3	Protokol DMX-512 .....	19
3.3.1	História DMX512 .....	19
3.3.2	Spájanie zariadení .....	20
3.3.3	Adresovanie .....	22
3.3.4	Technické parametre .....	24
3.3.5	Dátový formát .....	26
3.3.6	Logická vrstva ovládania .....	28
3.3.7	Wireless DMX .....	30
3.4	RDM .....	31
3.5	Art-Net .....	32
3.6	sACN .....	33
3.7	MA-Net .....	34
3.8	DALI .....	34
3.9	ILDA .....	35

<b>4</b>	<b>METÓDY OVLÁDANIA SVETELNÝCH ZARIADENÍ .....</b>	<b>36</b>
4.1	Jednoduché osvetľovacie pulty .....	36
4.2	Profesionálne osvetľovacie pulty .....	37
4.3	Softvér s hardvérovým rozhraním .....	39
4.4	Metódy ovládania.....	42
4.5	Predprogramované zdroje signálu.....	43
4.6	Automatické režimy .....	44
<b>5</b>	<b>PRAKTICKÁ ČASŤ - DMX MOST .....</b>	<b>45</b>
5.1	Schéma zapojenia.....	47
5.2	Obvodová doska.....	48
5.3	Firmvér.....	49
5.3.1	Čítanie DMX512.....	50
5.3.2	Komunikácia cez SPI.....	51
5.3.3	Vysielanie DMX512 .....	51
5.3.4	Počítanie strojového času.....	52
5.3.5	Funkcia Main .....	52
5.4	Zhodnotenie .....	52
<b>6</b>	<b>ZÁVER.....</b>	<b>54</b>



# Zoznam obrázkov a tabuliek

## Obrázky:

Obr. 1.1: Klasický halogénový reflektor.....	3
Obr. 1.3: 4-kanálový DMX512 stmievač.....	3
Obr. 1.3: LED PAR reflektor .....	4
Obr. 1.4: Rotačná hlava .....	4
Obr. 1.5: Zariadenie typu ‘Scanner‘ .....	4
Obr. 1.6: Laser .....	4
Obr. 1.7: LED Bar.....	4
Obr. 1.8: Typy zariadení podľa lúča .....	5
Obr. 2.1: Časti jednoduchšieho napájacieho zdroja .....	6
Obr. 2.2: Doska riadiacej elektroniky .....	7
Obr. 2.3: Halogénová žiarovka (250W), HMI výbojka (2kW), LED čip (50W).....	8
Obr. 2.4: Modul so závierkou a optikou .....	9
Obr. 2.5: Modul so závierkou a kotúčmi s farebnými filtrami a gobo obrazcami .....	9
Obr. 2.6: Kotúč s dichroickými sklami .....	10
Obr. 2.7: Disky gradientných farebných filtrov .....	10
Obr. 2.8: Kotúč s rotovateľnými gobo obrazcami .....	12
Obr. 2.9: Vyrobený vlastný obrazec na zákazku .....	12
Obr. 2.10: Clonový mechanizmus.....	12
Obr. 2.11: Jedna lamela clonového mechanizmu .....	12
Obr. 2.12: Prizma šošovka s mechanizmom .....	13
Obr. 2.13: Frost filter s motorom .....	14
Obr. 2.14: Posledná (vonkajšia) šošovka sústavy typu ‘beam‘ .....	15
Obr. 2.15: Rôzne druhy krokových motorov .....	16
Obr. 2.16: Rôzne druhy chladiacich ventilátorov .....	17
Obr. 2.17: Zapnutá rotačná hlava s odmontovaným krytom .....	17
Obr. 3.1: Spájanie zariadení na DMX512 linke.....	20
Obr. 3.2: Štvorcečný DMX rozbočovač.....	21
Obr. 3.3: Pole DIP prepínačov .....	23
Obr. 3.4: LCD displej.....	23
Obr. 3.5: Číslovanie pinov konektorov XLR-3 a XLR-5 .....	25
Obr. 3.6: DMX kábel (5pin) .....	26
Obr. 3.7: Prepojka z XLR5 na XLR3 .....	26
Obr. 3.8: Časovanie protokolu DMX-512 .....	28
Obr. 3.9: Sada bezdrôtového DMX vysielača a niekoľkých prijímačov .....	30
Obr. 3.10: Mobilný ručný RDM tester.....	32
Obr. 3.11: RDM injektor od firmy JESE .....	32
Obr. 3.12: Prevodník z DMX512 linky na Art-Net .....	33
Obr. 3.13: Rozhranie ILDA na zadnom paneli laserového zariadenia .....	35
Obr. 4.1: Jednoduchý pult DMX Operator 192 od firmy Eurolite.....	37
Obr. 4.2: Osvetľovacie pulty Avolites Sapphire Touch a Chamsys MQ100.....	39
Obr. 4.3: USB - DMX512 rozhrania od firiem Nicolaudie a Avolites .....	40
Obr. 4.4: Prostredie obľúbeného softvéru Sunlite Suite 2 od firmy Nicolaudie.....	41
Obr. 4.5: MIDI konzola Behringer BCF2000 .....	41

Obr. 4.6: Pokročilý DMX rekordér do racku od firmy Stairville .....	44
Obr. 5.1: Mikrokontrolér ATmega8A od firmy Atmel.....	46
Obr. 5.2: Bloková schéma zapojenia mostu.....	47
Obr. 5.3: Využitie pamäte mikrokontrolérov .....	53

#### **Tabuľky:**

Tab. 3.1: Váhy jednotlivých DIP prepínačov .....	23
Tab. 3.2: Zapojenie káblu ku konektoru XLR podľa štandardu .....	25
Tab. 3.3: Tabuľka trvania jednotlivých stavov DMX512.....	28
Tab. 5.1: Spotreba jednotlivých komponentov obvodu .....	53

# Slovník skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
<b>PWM</b>	Pulse-Width Modulation	Impulzovo-šírková modulácia
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board	Doska plošného spoja
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode	Svetlo emitujúca dióda
<b>HMI</b>	Hydrargyrum Medium-arc Iodide	Halogenidová výbojka
<b>CTO</b>	Color Temperature Orange	Index farebnej teploty
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display	Displej s kvapalnými kryštálmi
<b>DIP</b>	Dual In-line Package	Štandard rozmerového prevedenia elektrických súčiastok
<b>MAB</b>	Mark After Break	Príznak po prestávke, synchronizačná medzera
<b>MTBF</b>	Mark Time Between Frames	Príznak medzi rámcami
<b>MTBP</b>	Mark Time Between Pakets	Príznak medzi paketmi
<b>USB</b>	Universal Serial Bus	Univerzálna sériová zbernica
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computer	Procesor s obmedzenou inštrukčnou sadou
<b>ADC</b>	Analog Digital Converter	Analógovo-digitálny prevodník
<b>DAC</b>	Digital Analog Converter	Digitálno-analógový prevodník
<b>RAM</b>	Random Access Memory	Pamäť náhodného prístupu, pre dáta
<b>ROM</b>	Read Only Memory	Pamäť len na čítanie, pre program
<b>I/O</b>	Input/output	Vstup/výstup
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface	Sériové rozhranie pre periférie
<b>USART</b>	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter	Jednotka sériového komunikačného rozhrania mikrokontroléra
<b>GND</b>	Ground	Elektrická zem
<b>ISP</b>	In System Programming	Metóda programovania bez odpájania mikrokontroléra z obvodu
<b>SMD</b>	Surface Mount Technology	Technika povrchovej montáže súčiastok na dosku plošného spoja

# Slovník termínov

Termín	Význam termínu
<b>Rotačná hlava</b>	Svetelné zariadenie s otočnou hlavou, v ktorej je zdroj svetla a všetky mechanizmy.
<b>Scanner</b>	Svetelné zariadenie, ktoré svetelný lúč smeruje otáčaním zrkadla.
<b>Laser</b>	Svetelné zariadenie produkujúce veľmi tenké lúče pomocou laserových diód.
<b>Followspot</b>	Pohyblivý reflektor, určený na sledovanie pohybujúceho sa objektu na scéne svetelným kužeľom.
<b>Blinder</b>	Svetelné zariadenie s veľmi silnými zdrojmi svetla používané na efektné osvetlenie publika pred pódium.
<b>PAR reflektor</b>	Skratka pre Parabolic Aluminized Reflector, svetelný reflektor tvaru otvorenej plechovky.
<b>Gobo</b>	Obrazec, ktorého tvar nadobudne svetelný lúč potom čo ním prejde.
<b>Zoom</b>	Transfokačný mechanizmus meniaci ohniskovú vzdialenosť optiky zariadenia, prípadne samotný proces jej zmeny.
<b>DMX segment</b>	Časť DMX512 siete, jedna elektrická linka, obsluhujúca maximálne 512 adresných kanálov.
<b>Dongle</b>	Malé zariadenie, ktoré sa pripája do nejakého konektoru.
<b>Live produkcia</b>	Produkcia show v reálnom čase bez predpripraveného programovania.
<b>Paket</b>	Balík informácií, dát, prenášaných sieťou alebo linkou.
<b>Broadcast/ Unicast</b>	Spôsoby sieťovej komunikácie, kedy vysielateľ adresuje všetky zariadenia v sieti / jedno konkrétne zariadenie v sieti.
<b>Fader</b>	Označenie pre posuvný potenciometer na osvetľovacích pultoch.
<b>Enkóder</b>	Ovládací prvok tvaru otočného potenciometra, avšak bez hraničných pozícií.
<b>Personalita</b>	Súbor obsahujúci zoznam funkcií a atribútov svetelného zariadenia.
<b>Patchovanie</b>	Proces spárovania adres so zariadeniami na DMX linke.
<b>Master</b>	Nadradené zariadenie pri komunikácii typu klient-server.
<b>Slave</b>	Podriadené zariadenie pri komunikácii typu klient-server.
<b>Interface</b>	Hardvérové rozhranie softvéru na riadenie svetelného parku.
<b>ATmega</b>	Označenie rodiny mikrokontrolérov od firmy Atmel.
<b>Pin</b>	Jeden vstup/výstup mikrokontroléra, prípadne iný kontakt.
<b>Prerušenie</b>	Funkcia, ktorá sa automaticky spustí pri nejakej udalosti.

\* Niektoré termíny nie sú preložené, pretože nemajú v slovenčine ekvivalentné pomenovanie.

## Pod'akovanie

Chcem sa pod'akovať vedúcemu mojej bakalárskej práce, doc. Ing. Martinovi Vaculíkovi, PhD. za odborný dohľad a dôležité pripomienky a Simone Chabanovej za podporu pri jej písaní.

# 1 ÚVOD

Pod pojmom riadenie svetelného parku, alebo svetelnej javiskovej techniky rozumieme ovládanie všetkých svetelných zariadení, ľudovo povedané svetiel, ktoré sa nachádzajú na pódiu, ale často aj mimo neho, na koncertoch, festivaloch, v divadlách, na diskotékach, firemných či prezentačných akciách, pri televíznych produkciách, no aj pri udalostiach ako sú svadby či stužkové, ak si nejaký svetelný park so sebou nosí napríklad DJ alebo kapela zabezpečujúca hudbu. Väčšina nezainteresovaných ľudí si myslí, že svetlá na týchto akciách fungujú automaticky alebo náhodne. V drvivej väčšine prípadov to nie je pravda a za ich správaním stojí zdĺhavé predprogramovanie, alebo ovládanie z réžie v reálnom čase. Návštevníci podujatí si často ani neuvedomujú dôležitosť správnej činnosti týchto svetiel, avšak práve svetlá sú to, čo umocňuje a znásobuje dobrý zážitok z udalosti. Stačí si predstaviť, ako by asi vyzeral koncert známej kapely, celý čas pri rovnakom statickom nasvietení. Akokoľvek dobrý by umelec bol, len veľmi ťažko by sa mu darilo vytvoriť v publiku správnu atmosféru. V divadle sa nasvietenie mení individuálne na každú scénu. Ak by sa tak nedialo, celé pódium by bolo počas celej hry nasvietené rovnako, rovnomerne. Takáto hra by bola fádna, nezaujímavá, autori by nedokázali zvýrazniť dôležité miesta na scéne a divák by mal pocit, že sa pozerá na nízkorozpočtový film bez akéhokoľvek strihu. Práve svetlá totiž môžu v divadle vytvoriť pomyselný strih - jedna časť javiska sa môže zhasnúť zatiaľ čo iná rozsvietiť, čo presunie pozornosť diváka inam. Okrem toho je možné vďaka svetlám napodobňovať javy počasia - dojem západu slnka, blýskania sa a podobne.

Umelci, či už hudobní alebo divadelní, si možnosti, ktoré im svetelná technika ponúka, stále viac uvedomujú. Na to reagujú výrobcovia týchto zariadení a výsledkom je vysoké tempo vývoja nových technológií a ich rýchle nasadzovanie do praxe. Vo viacerých krajinách sveta sa každoročne konajú veľtrhy, kde výrobcovia predstavujú svoje nové výrobky a technológie v tejto oblasti, ktoré vyvinuli za posledný rok. Tento pokrok sa dá najlepšie sledovať na najväčších svetových festivaloch, kde úroveň techniky každoročne viditeľne stúpa. Svetelná technika sa dostáva aj na miesta, kde sa o nej pred 10timi rokmi vôbec neuvažovalo. Dobrým príkladom sú napríklad aquaparky, kde je trendom vytvárať vo večerných hodinách pre svojich

návštevníkov laserové či svetelné šou. Svetelné šou sa stávajú neodlučiteľnými aj na rôznych festivaloch umenia, konajúcich sa v interiéroch aj exteriéroch. Ruka v ruku so svetelnou a laserovou technikou sa vyvíja aj pyrotechnika a na exteriérových podujatiach sa s veľkou obľubou používajú spoločne, čo vytvára veľmi silné vizuálne zážitky a môže divákovi vytvoriť nezabudnuteľné spomienky.

To všetko je možné len vďaka vývoju týchto technických odvetví, ktoré sa za nie dlhú dobu dostali z plienok až k zložitým, precízne pracujúcim zariadeniam. Táto bakalárska práca sa venuje ovládaniu svetelných zariadení, no rovnakými protokolmi sa často ovládajú aj iné javiskové prístroje, ako dymostroje, snehostroje, bublinkostroje, jednoduchšie pyrotechnické efekty ako konfetové delá, CO2 delá, iskro stroje, či lacnejšie plameňostroje a odpaľovače ohňostrojov.

Práca je rozdelená do 4 častí: v prvej časti je analyzované, čo všetko sa nachádza vnútri zložitého svetelného zariadenia - rotačnej hlavy, v druhej časti sú popísané protokoly používajúce sa na ovládanie zariadení, tretia časť je venovaná spôsobom, ako a s čím z užívateľského hľadiska tieto zariadenia riadiť, a štvrtá časť sa týka praktickej úlohy tejto práce - vytvoreniu mostu, ktorý multiplexuje - spája 2 riadiace linky DMX signálu do jednej spoločnej.

## ***1.1 TYPY SVETELNÝCH ZARIADENÍ***

Základné rozdelenie, ktoré môžeme použiť, je na jednoduché/sebastačné zariadenia a inteligentné zariadenia.

Jednoduché resp. sebastačné ich môžeme pomenovať preto, že na svoju činnosť nepotrebujú externý riadiaci signál. Môžeme sem zaradiť napríklad obyčajné halogénové reflektory, sledovacie reflektory (tzv. 'followspoty') s filtrami s mechanickým ovládaním a jednoduché efektové svetlá, ktoré zvyčajne reagujú automaticky podľa hudby pomocou vstavaného mikrofónu. Niektoré takéto zariadenia môžu mať vlastný externý ovládač, napr. lacné stroboskopy mávajú jednoduchú káblovú spúšť s nastavením rýchlosti a intenzity zábleskov. Pri jednoduchých reflektoroch, ak chceme ovládať ich intenzitu (svietivosť), potrebujeme externé zariadenie, tzv. stmievač ('dimmer'). Ten slúži tak, že na základe dát z riadiaceho

protokolu ovláda pomocou impulzovo-šírkovej modulácie (PWM) efektívnu hodnotu striedavého napätia v zásuvke, do ktorej sa následne pripája reflektor. Ten potom logicky svieti slabšie, podľa toho aké napätie sa v zásuvke nachádza. Tieto stmievače bývajú zvyčajne vyrábané ako viackanálové, pričom každý kanál ovláda jednu výstupnú zásuvku.



*Obr. 1.1: Klasický halogénový reflektor      Obr. 1.2: 4-kanálový DMX512 stmievač*

Inteligentné zariadenia označujeme tie, ktoré majú priamo vstup pre riadiaci signál a svoju činnosť vykonávajú podľa inštrukcií, ktoré cezeň dostanú. Aj tieto zariadenia majú automatické režimy, ale naopak, tie sú tu len ako minoritné a väčšinou sa nepoužívajú.

Tieto inteligentné zariadenia vieme rozdeliť ďalej, no rôzne druhy sa môžu navzájom kombinovať, preto je toto rozdelenie už len orientačné:

- Statické svetlá reflektorového typu - väčšinou tzv. LED PAR reflektory
- Nepohyblivé inteligentné svetlá typu ‘wash‘
- Pohyblivé inteligentné svetlá - “rotačné hlavy“
- Nepohyblivé inteligentné svetlá so zrkadlovým smerovaním – ‘scannery‘
- Stroboskopy - svetlá vytvárajúce rýchle krátke intenzívne záblesky
- ‘Blinder’ reflektory - veľmi silné halogénové alebo LED svetlá osvetľujúce veľkú plochu, väčšinou divákov, teplým bielym svetlom (odvodené od angl. blind – oslepiť)



- Lasery - produkujúce veľmi tenké lúče s použitím laserových diód ako zdroja svetla, umožňujú vykresľovať text, obrazce atď.
- Bary - majú podlhovasté telo v tvare tyče alebo rúry, v ktorom je umiestnených veľa slabších zdrojov svetla, celé telo sa môže natáčať
- Panelové svetlá - väčšinou založené na LED diódach usporiadaných vo veľkých paneloch, môžu sa nadväzovať a vytvoriť celú svetelnú stenu



*Obr. 1.3: LED PAR reflektor*



*Obr. 1.4: Rotačná hlava*



*Obr. 1.5: Zariadenie typu 'Scanner'*



*Obr. 1.6: Laser*



*Obr. 1.7: LED Bar*

Pri delení zariadení treba spomenúť ešte jedno rozdelenie, ktoré sa týka hlavne zariadení typu “rotačné hlavy“. Podľa spôsobu, ako je formovaný lúč svetla v optike zariadenia, rozlišujeme 3 označenia typu zariadení: [1]

- ‘Wash’ – významovo zaplaviť (svetlom) – svetlo nie je zaostrené do lúča, ale osvetľuje širšiu plochu s plynulo rozptýlenými okrajmi. Rozbiehavosť svetla je relatívne veľká (môže sa dať ovplyvniť). Tieto zariadenia sa používajú na osvetlenie samotnej scény alebo jej častí.
- ‘Spot’ – v preklade miesto – svetlo je zaostrené do lúča, ktorý je menej rozbiehavý (dá sa ovplyvniť), na dopadajúcej ploche vytvorí kruh. Používa sa na osvetlenie jedného konkrétneho miesta/osoby/objektu. Zariadenia tohto typu by mali obsahovať prepracované transfokátory na zmenu veľkosti a ostrosti kužeľa a ideálne aj rámovací mechanizmus na orezanie jeho tvaru.
- ‘Beam’ - lúč je (predvolene) veľmi málo rozbiehavý – úzky. Účelom primárne nie je osvetlenie miesta dopadu lúča, ale viditeľnosť samotného lúča v priestore (z toho je odvodený aj ich názov – beam po angl. znamená lúč). Tieto zariadenia bývajú najkomplexnejšie, pretože sú určené na vytváranie efektov. Mávajú zabudované množstvo mechanizmov a filtrov, tiež transfokátory, a dokážu čiastočne zastúpiť aj účel predchádzajúcich typov zariadení.



Obr. 1.8: Typy zariadení podľa lúča

## 2 VNÚTORNÁ KONŠTRUKCIA ZARIADENÍ

V tejto časti je vykonaná analýza vnútorných komponentov profesionálnych javiskových svetiel, od jednoduchých reflektorov, po zložité rotačné hlavy. Pri filtroch sú v zátvorkách uvedené zaužívané anglické názvy týchto funkcií, resp. atribútov v ovládacom prostredí.

### 2.1 NAPÁJACÍ ELEKTRICKÝ ZDROJ

Zvyčajne sa nachádza na samostatnej obvodovej doske, ktorá je tienená kusom kovu alebo fóliou, aby sa zabránilo rušeniu elektronických obvodov. Zdroj je prispôbený potrebám konkrétneho zariadenia. Najzložitejšie zdroje sú potrebné pre zariadenia s výbojkovými zdrojmi svetla, ktoré požadujú veľký príkon, tvrdosť zdroja a tiež často niekoľko rozličných napájacích napätí. Naopak jednoduchšie svietidlá s LED zdrojom/zdrojmi svetla sa môžu zaobísť aj s jednoduchším spínaným zdrojom.



*Obr. 2.1: Časti jednoduchšieho napájacieho zdroja*

### 2.2 RIADIACA ELEKTRONIKA

Pozostáva z jednej alebo viacerých obvodových dosiek, na ktorej/ktorých sa nachádzajú všetky elektronické obvody zabezpečujúce vyhodnotenie riadiaceho signálu a riadenie jednotlivých mechanizmov zariadenia. Veľkú časť tvoria

integrované obvody riadiace krokové motory, ktoré zabezpečujú pohyb všetkých mechanických častí v zariadení.



*Obr. 2.2: Doska riadiacej elektroniky*

## **2.3 SVETELNÝ ZDROJ**

Hneď ďalším komponentom, ktorý musíme spomenúť, je pochopiteľne zdroj svetla, resp. svetelného toku. Často býva umiernený v komore, ktorá plní 2 úlohy – z jej vnútornej strany môže byť odrazový materiál, ktorý odráža svetlo vyžiarené do neúčinného smeru a zároveň chráni ostatné komponenty od sálajúceho tepla (viď. tepelný štít, popísaný nižšie). Zdrojom svetla môže byť nasledovné:

### **2.3.1 Halogénová žiarovka**

Používa(la) sa v starších efektových svetlách, v reflektoroch a v “blinder” svetlách. Jej výhodami sú ľahká dostupnosť, cena, ľahká vymeniteľnosť a nenáročnosť na napájanie, štartovanie a podobne. Nevýhodou je ale dosť krátka životnosť, pohybujúca sa len v desiatkach hodín a slabá efektívnosť (pomer vyžarovaného tepla/svetla). Pri dobrom chladení môžu tieto žiarovky dosahovať aj veľmi vysoké výkony do cca 3000W. V efektových svetlách sa bežne používali žiarovky o výkone 250-300W s päťkami MR16.

### **2.3.2 Plynová výbojka**

Používa sa hlavne v efektových svetlách a stroboskopoch. Fungujú na báze elektrického výboju v plyne alebo kovovej pare. Najpoužívanější typy sú tzv. metalhalogenidové (tzv. HMI) výbojky a novšie xenónové výbojky s vyššou

svietivosťou a neutrálnejšou farbou. Ich výhodami sú veľmi vysoká svietivosť a životnosť v rádoch stoviek hodín, no za cenu veľkého množstva nevýhod: vysoká cena, ktorá sa môže vyšplhať až na niekoľko sto eur za kus, potreba veľmi účinného aktívneho chladenia, nakoľko dosahujú veľmi vysokých prevádzkových teplôt (niekoľko sto °C), potreba zložitej elektroniky riadiacej napájanie a štartovanie výbojky, nutnosť výbojku chladiť nejaký čas aj po jej vypnutí, jej krehkosť a náchylnosť na nárazy a znižovanie svetelného výkonu starnutím. [2]

### 2.3.3 LED zdroje

Najmodernejší zdroj svetla, ktorý sa dostáva do všetkých typov zariadení. Výhodou je vysoká účinnosť, kompaktnosť, jednoduchosť potrebnej elektroniky a obrovská životnosť - desiatky tisíc hodín, v podstate sa neuvažuje s nutnosťou meniť ich počas doby životnosti zariadenia. Cena LED zdrojov sa v aktuálnej dobe stále znižuje a ich výkon sa darí zväčšovať. Nevýhodou je ale ešte stále nedostatočný svetelný výkon pre najsilnejšie typy zariadení a strácanie svetelného výkonu starnutím pri lacnejších a nekvalitnejších čipoch.



Obr. 2.3: Halogénová žiarovka (250W), HMI výbojka (2kW), LED čip (50W)

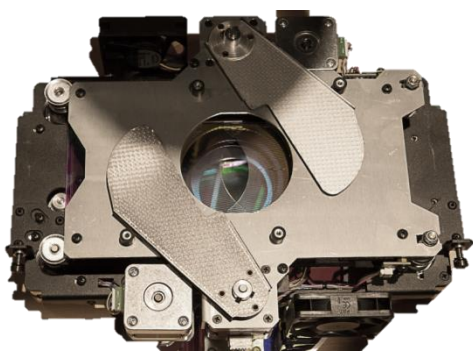
### 2.3.4 Stroboskopické výbojky

Ide o špeciálny typ výbojok používaných v stroboskopoch, ktoré dokážu vytvárať veľmi vysokú intenzitu svetla, no len na krátke okamihy – záblesky, v trvaní desiatok, maximálne stoviek milisekúnd. Ich výkon býva od 500 po 3000W.



## 2.4 ZÁVIERKOVÝ MECHANIZMUS (SHUTTER)

Ide o mechanizmus dvoch klapiek so hrebeňovými výrezmi umiestnených oproti sebe, nachádzajúcich sa hneď pred komorou so svetelným zdrojom, ktoré sa dokážu veľmi rýchlo horizontálne pohybovať - prekryť sa, a prerušiť tak svetelnému toku cestu ďalej. Používajú sa na vytvorenie stroboskopického efektu - výbojky ani halogénové lampy sa nedokážu rýchlo zapínať a vypínať, stroboskopický efekt je teda vytváraný takýmto prerušovaním svetelného toku. Rýchlosť mechanizmu môžeme ovládať, pričom najkvalitnejšie môžu byť navrhnuté tak, aby sa dokázali zatvoriť a otvoriť až 20x za sekundu, čiže sa môže vytvoriť stroboskopický efekt s frekvenciou až do 20Hz. Závierkový mechanizmus má ešte jeden dôležitý účel, a to ovládanie množstva svetla, ktoré prepúšťa. Keďže sa nachádza na začiatku reťazca, kde ešte lúč nie je zaoštrovaný, využíva sa na to, že zmenou štandardnej polohy klapiek (otvorená poloha) - teda nakoľko sú otvorené sa dá obmedziť množstvo svetla, ktoré sa dostane ďalej, von z komory so svetelným zdrojom, bez toho aby to po zaoštrovaní lúča bolo viditeľné na jeho tvare. Práve závierka je teda to, čo vo výbojkových svetlách ovláda “stmievanie” výsledného lúča. Výbojka pritom v zariadení svieti stále rovnako, aj keď je svetlo úplne stlmené (t.j. klapky sú úplne zavreté a pokrývajú sa). Na pravom obrázku sa závierka nachádza úplne navrchu modulu. [3]



Obr. 2.4: Modul so závierkou



Obr. 2.5: Modul so závierkou a kotúčmi s farebnými filtrami a gobo obrazcami

## 2.5 FAREBNÉ FILTRE (COLOR)

Tieto filtre ovplyvňujú farbu svetelného lúča vychádzajúceho zo zariadenia. Môžu byť riešené dvoma spôsobmi:

### 2.5.1 Dichroické sklá

Po obvode rotovateľného kotúča sú vo výrezoch umiestnené sklíčka, do ktorých je počas výroby naparená vrstva dichroických filtrov. Sú to filtre úzko selektujúce rozsah vlnových dĺžok prepúšťaného svetla, pričom ostatné vlnové dĺžky sú nie pohltené ale odrazené späť. Tým sa dosiahne minimálne zahrievanie týchto sklíčok a tým aj ich prakticky nekonečná životnosť. Kotúč sa nastaví do želanej polohy tak, aby svetelný tok prechádzal jedným z týchto sklíčok a svetelný lúč sa tak zafarbí na želanú farbu. [4]

### 2.5.2 Gradientné RGB/CMY

V mechanizme sa nachádzajú 3 kotúče, každý s filtrom prepúšťajúcim jednu z farieb (podľa RGB alebo CMY modelu miešania farieb), gradientne alebo hrebeňovite nanesenom po obvode kotúča. Výsledná farba sa potom namixuje želaným pomerom týchto filtrov. Veľmi často sa používa aj štvrtý kotúč, ktorý má po obvode gradient medzi oranžovou a modrou farbou, v strede s úplnou priehľadnosťou. Označuje sa ako CTO filter (Color Temperature Orange) a dokáže zmeniť teplotu (bielej) farby na želaný odtieň. [3]



Obr. 2.6: Kotúč s dichroickými sklami Obr. 2.7: Disky gradientných farebných filtrov

Tieto riešenia bývajú niekedy použité súčasne, v zariadení sa teda môžu nachádzať 4 alebo aj viacero farebných kotúčov. Výhodou takejto kombinácie je to, že na kotúč s dichroickými filtrami sa môžu umiestniť na zákazku vyrobené sklíčka s presne dohodnutými farbami. To môže byť veľmi užitočné pri osvetľovaní akcií, kde organizátor alebo účinkujúci je firma alebo subjekt požadujúci presné dodržanie farieb podľa ich logotypu, korporátnej identity apod. Nevýhodou použitia farebných filtrov je čiastočná strata intenzity svetelného lúča, pretože energia nachádzajúca sa na ostatných vlnových dĺžkach filtrom neprejde.

## **2.6 GOGO VZORY (GOGO)**

Gogo vzory sú obrazce, ktoré “orežú” svetelný lúč do svojho tvaru. Môžu tvoriť ľubovoľné geometrické obrazce, formovať nejaký/é objekt/y, napríklad snehové vločky, hviezdy či srdcia, alebo aj napríklad logo. Taktiež môžu napodobňovať nejaký úkaz, napríklad vodnú hladinu. Technicky sú riešené rovnakým spôsobom, ako farebné filtre. Gogo filtre sú tvorené tenkými kovovými alebo sklenenými kolieskami, do ktorých sú vyrezané (v prípade sklenených namaľované) požadované tvary, a tie sú umiestnené na rotovateľnom kotúči, ktorý umiestni zvolené gogo do cesty svetelného lúča. Na kotúči sa môže nachádzať ešte mechanizmus, ktorý dokáže jednotlivými plieskami otáčať - rotovať ich okolo svojej osi, alebo navyše nimi natriasť (rýchlo pohybovať po eliptickej dráhe). Takéto goby sa potom nazývajú rotačné, a tzv. ‘shake’ (trasúce), a dokážu vytvoriť ešte zaujímavejšie efekty. Rýchlosť rotácie sa dá prispôbovať, rovnako aj jej smer (v/proti smeru hodinových ručičiek). Okrem toho sa môžu použiť ako klasické nepohyblivé, s tým, že sa natočia do presne želaných pozícií. V praxi bývajú často v zariadení umiestnené 2 kotúče - jeden s pevnými - statickými gobami, a druhý s otáčavými, rotačnými gobami, pričom je dobrou vlastnosťou, ak sú vymeniteľné za vlastné obrazce. Sklenené goby majú oproti kovovým výhodu v tom, že môžu byť aj farebné. Aby sa obrazec správne premietol na projekčnú plochu (miesto kam dopadá lúč, napr. stena), musí byť lúč ešte správne zaostrený (na správnu vzdialenosť). Na to slúži zaostrovací mechanizmus, ktorý bude spomenutý neskôr. [3][6]





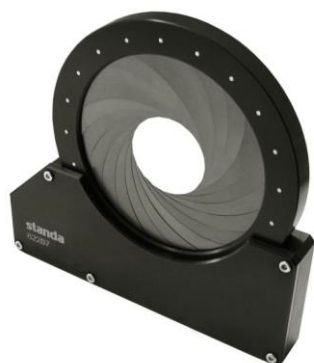
Obr. 2.8: Kotúč s rotovateľnými  
gobo obrazcami



Obr. 2.9: Vyrobený vlastný obrazec  
na zákazku

## 2.7 CLONOVÝ MECHANIZMUS (IRIS)

Iris, alebo clonový mechanizmus pracuje na rovnakom princípe ako clona vo fotoaparáte. Nachádza sa v ňom viacero pohyblivých kovových klapiek nazývaných lamely, usporiadaných tak, aby tvorili kruh. Cezeň prechádza svetelný lúč. Lamely sú navzájom prepojené tak, aby sa pohybovali súčasne a menili priemer kruhu, ktorý tvoria. Tým sa dá meniť priemer výsledného lúča a zároveň sa tým obmedzuje energia ktorú nesie, pretože jej časť je zachytená lamelami. Výsledný efekt je podobný použitiu transfokačného mechanizmu (zoom), ktorý je vysvetlený nižšie, ten ale nemení energiu svetelného lúča, preto pri veľkých zmenách môže byť viditeľná zmena intenzity svetla na projekčnej ploche, zatiaľ čo pri použití clony sa to nestane (energia lúča sa mení priamo úmerne s jeho priemerom). V praxi sa clona väčšinou používa vtedy, ak máme transfokačný mechanizmus nastavený na minimálnej hodnote a chceme ešte viac zmenšiť priemer lúča. [3][7]



Obr. 2.10: Clonový mechanizmus



Obr. 2.11: Jedna lamela mechanizmu

## 2.8 RÁMOVACÍ MECHANIZMUS

Ide zatiaľ o výsadu najdrahších zariadení. Je to komplexný mechanizmus tvorený viacerými klapkami usporiadanými do štvorca, ktoré sa navyše dokážu aj natáčať. V štandardnom stave sa nachádzajú tak, aby nezakrývali žiadnu časť lúča. Ich posúvaním sa ale dá meniť geometrický tvar výsledného lúča, doslova si môžeme vytvárať lúč v tvare trojuholníka, lichobežníka, atď., podľa nášho želania alebo potreby. Potrebu sa môže myslieť situácia, kedy svietime na miesto, kde chceme osvetliť len presnú časť plochy kam lúč dopadá. Takýmto spôsobom si vieme „odrezať“ časť lúča, ktorú nepotrebujeme. Rámovací mechanizmus býva v niektorých zariadeniach zároveň aj uzávierkou, potom teda nie je samostatný závierkový mechanizmus (shutter) potrebný.

## 2.9 OPTICKÝ HRANOL (PRIZMA)

Ide o kotúč so šošovkou formovanou do tvaru niekoľkobokého ihlanu. Keď ním lúč prejde, rozdelí sa na niekoľko menších lúčov rozbiehajúcich sa od seba, čo tvorí veľmi pekný efekt. Celý kotúč môže navyše rotovať, čo spôsobí otáčanie všetkých lúčov do kruhu. Drahšie zariadenia bývajú vybavené aj viacerými prizma kotúčmi, pričom tie majú rozdielny počet výbrusov („facetov“). Jeden kotúč môže teda mať osadenú napríklad jednoduchú 3-facetovú prizmu a druhý „zložitejšiu“ 8 alebo 16-facetovú. [3]



Obr. 2.12: Prizma šošovka s mechanizmom

## 2.10 MATNÝ FILTER (FROST)

Je to filter, ktorý spôsobí úplne rozostrenie lúča a rovnomerné rozloženie jeho intenzity na oveľa väčšiu kužeľovú plochu - akoby prešiel hustou hmlou. Výsledkom je, že zo zariadenia zvyčajne produkujúceho lúč (beam) sa stane zariadenie “matne” osvetľujúce širokú plochu (wash). Drahé zariadenia majú tento filter aj gradientný, fungujúci na rovnakom princípe ako farebné gradientné filtre. [3]



*Obr. 2.13: Frost filter s motorom*

## 2.11 OPTIKA

Optikou sa rozumie sústava viacerých šošoviek nachádzajúcich sa za všetkými filrami (prípadne pomedzi), ktoré upravujú, formujú svetelný lúč na optickej úrovni. Ich úlohou je zabezpečiť, aby výstupný lúč bol čo najostrejší (čo najväčší kontrast medzi svetlom a tmou na okraji lúča), aby nedochádzalo ku chromatickým chybám pri použití filtrov, aby gobo obrazec bol zaostrený na požadovanú projekčnú vzdialenosť, a v neposlednom rade meniť aj rozbiehavosť lúča, čo mení veľkosť plochy ktorú osvieti, vid' ďalší odsek. Na niektorých zariadeniach sa dá časť optiky (zvyčajne posledná šošovka) vymeniť, čo zmení typ zariadenia spomedzi trojice spot/beam/wash. [1]



*Obr. 2.14: Posledná (vonkajšia) šošovka sústavy typu ‘beam’*

## **2.12 TRANSFOKAČNÝ MECHANIZMUS (ZOOM)**

Tento mechanizmus mení ohniskovú vzdialenosť optiky zmenou polohy niektorých šošoviek v optike, čo spôsobuje zmenu rozbiehavosti výstupného svetla. Tento jav závisí od typu zariadenia (beam/spot/wash), no zvyčajne funguje tak, že svetelný tok vychádzajúci zo zariadenia je formovaný tak, že jednotlivé svetelné lúče sa zbiehajú do seba. V nejakej vzdialenosti (už vo voľnom priestore) sa nachádza ohnisko, kde sa tento jav invertuje a za ktorým sa lúče rozbiehajú od seba. Zmenou vzdialenosti tohto ohniska od zariadenia sa dá kvadraticky ovplyvniť priemer plochy ktorú lúč osvetlí na jeho konci (t.j. miesto, kam dopadá). Prakticky sa tento parameter v jednoduchosti nazýva “priblíženie“ lúča, alebo po anglicky zoom. Jeho hodnota sa udáva v stupňoch a určuje veľkosť uhla svetelného kužeľa za spomínaným ohniskom.

## **2.13 ZAOSTROVACÍ MECHANIZMUS (FOCUS)**

Ide o mechanizmus pohybujúci s jednou šošovkou, ktorej poloha ovplyvňuje, na akú projekčnú vzdialenosť (vzdialenosť od zariadenia po plochu, kam dopadá lúč) má byť zaostrený obrazec vytvorený gobo filtrom, prípadne rámovacím mechanizmom. V niektorých zariadeniach ním vieme nastaviť aj ostrosť okraju kužeľa. [3]

## 2.14 POHYBOVÉ MECHANIZMY

Sú tvorené silnými krokovými motormi pripojenými na remene a ložiská, ktoré pohybujú celou hlavou zariadenia. Ich úlohou je čo najrýchlejšie a najpresnejšie natočiť hlavu do želanej polohy, čo najjemnejším pohybom (aby lúč na projekčnej ploche neskákal a netrhlo ním pri pohybe). Pri zariadeniach typu “scanner“ (so zrkadlom, ktoré nastavuje smer lúča a zvyškom tela nepohyblivým) tieto motory ovládajú polohu zrkadla.



Obr. 2.15: Rôzne druhy krokových motorov

## 2.15 TEPELNÝ ŠTÍT A VENTILÁTORY

Dôležitou súčasťou zariadení je chladiaci systém. Väčšinou býva aktívny, tvorený ventilátorom alebo sústavou ventilátorov. Pri použití vysokovýkonných výbojek, ktoré sa zahrievajú na veľmi vysokú teplotu býva chladenie kriticky dôležitou súčasťou zariadenia a je nutné použiť vysokovýkonné ventilátory nasávajúce vzduch z vonka zariadenia dnu a vytláčajúce horúci vzduch od výbojky smerom von. Ak by sa výbojka prehrievala, jej životnosť by prudko poklesla. Aby teplo sálajúce z výbojky nezaťažovalo ostatné komponenty býva celá komora z výbojkou chránená od ostatných mechanizmov kovovým tepelným štítom. Ak by chladenie úplne zlyhalo, výbojka by sa zničila v priebehu krátkej chvíle. Preto je nevyhnutné, aby mali výkonné zariadenia integrované aj teplotné senzory, ktoré zabezpečia vypnutie výbojky v prípade zlyhania ventilátorov. Pasívne chladenie prichádza do úvahy len pri slabých zdrojoch svetla, pričom ani pri nich to nie je odporúčané.



*Obr. 2.16: Rôzne druhy chladiacich ventilátorov*

Nie všetky tieto spomenuté komponenty sa týkajú všetkých zariadení. Ich použitie závisí od ceny a kvality zariadenia a od jeho typu. Popísané ale boli všetky komponenty nachádzajúce sa bežne v rotačných hlavách, filtre v poradi, v akom sú zvyčajne umiestnené v smere od zdroja svetla. Tieto filtre sa môžu používať súčasne, nezávisle od seba. Zvyčajne sa každý z nich ovláda jedným (pri zložitejších filtroch viacerými) kanálom riadiaceho protokolu. Pochopiteľne, nie všetky filtre sa dajú kombinovať so všetkými, keďže sa ich činnosť môže vylučovať - napr. nemôžeme naraz aplikovať dichroický aj gradientný farebný filter, pretože výsledná farba by bola nečakaná, spôsobená ich kombináciou; alebo sa vylučuje použitie gobo obrazca s matným filtrom, keďže ten lúč úplne rozostří. [26]

Väčšina týchto mechanizmov je ovládaná pomocou krokových motorov, prispôbených pre konkrétne miesto použitia – v niektorých mechanizmoch je dôležitá rýchlosť, inde presnosť a niekde je podstatný aj točivý moment (sila) motora.



*Obr. 2.17: Zapnutá rotačná hlava s odmontovaným krytom*



## 3 OVLÁDACIE PROTOKOLY

V súčasnej dobe sa na ovládanie javiskových svetiel používa takmer výhradne protokol DMX512. Ako sa dočítame nižšie, ostatné protokoly ho len dopĺňajú či enkapsulujú. Pozrime sa ale aj na jeho predchodcov a technológie používané v minulosti.

### 3.1 ANALÓGOVÉ RIADENIE 0-10V

Je najstarší a najprimitívnejší spôsob diaľkového ovládania svetelných zariadení. Ako vyplýva aj z názvu, riadiaci signál je jednoducho jednosmerné napätie v rozsahu od 0-10 voltov. Ak sme potrebovali ovládať viacero funkcií zariadenia, pre každú z nich bol potrebný samostatný vodič. To bolo ťažkopádne, náročné na kabeľáž, a keďže káblivé cesty v divadlách bývajú často veľmi dlhé a vedú paralelne so silnoprúdovými vedeniami, tento systém bol aj značne náchylný na rušenie a interferencie. V dobe keď sa používal, boli však zariadenia veľmi jednoduché, a vo väčšine prípadov sa ním ovládalo len stmievanie reflektorov v divadlách, kde teda 0V znamenalo vypnutú žiarovku a 10V plný výkon. Avšak, stále ho môžeme nájsť aj v niektorých dnešných zariadeniach, ako alternatívu k digitálnemu riadeniu (napríklad v stroboskopoch). [8]

### 3.2 D54, AMX-192

Ide o staré analógové protokoly vyvinuté približne paralelne koncom 70-tych rokov. D54 bol vyvinutý vo Veľkej Británii, zatiaľ čo AMX-192 v Spojených Štátoch. Fungujú na princípe multiplexovania viacerých analógových hodnôt do “rámcov“, ku ktorým sa pridajú synchronizačné impulzy, a ktoré sa vysielajú nepretržite dookola. Pri protokole D54 teoreticky nie je počet kanálov v jednom rámci limitovaný, no pri väčšom množstve stúpa doba cyklu a tým aj čas odozvy - reakcie zariadení. Protokol AMX-192 využíva rovnakú schému priebehu, no má inak definované časy trvania jednotlivých stavov a je limitovaný na 192 kanálov. [5][9]

### 3.3 PROTOKOL DMX-512

Ako bolo už spomenuté, DMX512 (skrátene DMX) je v súčasnej dobe najpoužívanejší a najuniverzálnejší protokol určený k ovládaniu svetelnej techniky. Ide o digitálny protokol, nástupcu analógových predchodcov, na ktorých sa ale principiálne veľmi podobá. Pôvodne bol vyvinutý pre použitie s najmä divadelnou a javiskovou technikou, dnes je však kvôli jeho univerzálnosti a jednoduchosti používania jeho využitie oveľa širšie. Používa sa od ovládania farebných LED pásov v domácnostiach, cez ovládanie jednoduchej aj profesionálnej techniky na diskotékach, koncertoch, festivaloch, v divadlách, ovládanie architektonických svetiel, ozdobných svetiel, až po riadenie nie-svetelnej techniky, ako napríklad výrobníkov pary, alebo pyrotechnických efektov.

Skratka DMX512 znamená Digitálny Multiplex o 512 kanáloch. Každý kanál je vlastne 1-bajtová hodnota (0-255). V praxi záleží od typu koncových zariadení, koľko kanálov je potrebných na ich ovládanie, a teda aj aký počet zariadení dokážeme týmto protokolom ovládať. [10][22]

#### 3.3.1 História DMX512

DMX512 vytvoril inštitút USITT (United States Institute for Theatre Technology) v roku 1986. Ako už bolo spomenuté, jeho účelom bolo nahradiť analógové technológie, ktoré mali radu nevýhod, čo sa mu veľmi rýchlo a úspešne podarilo. Pretože vychádzal z už vtedy zaužívaného a osvedčeného štandardu RS-485 (definujúci štandard sériovej komunikácie po dvojvodičovej linke), jeho zavedenie bolo pre výrobcov jednoduché a lacné, keďže na trhu už boli dostupné potrebné technické prostriedky. V roku 1990 prešiel menšou revíziou (DMX512/1990), ktorá definovala ako predpísané konektory 5-pinové konektory XLR a upravila niektoré časovacie intervaly<sup>1</sup>. V roku 1998 prevzala štandard asociácia ESTA (Entertainment Services and Technology Association) a začala pracovať na ďalšej revízii, aby mohol byť DMX512 za evidovaný ako akreditovaný štandard ANSI (American National Standards Institute). To sa podarilo v roku 2004, kedy prebehlo jeho schválenie

---

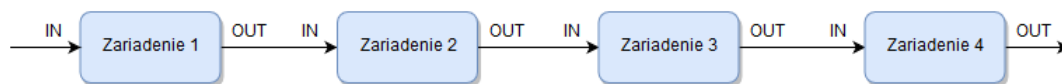
<sup>1</sup> Pred touto revíziou nebolo stanovené, aké konektory má DMX používať, preto niektoré zariadenia vyvinuté predtým používali napríklad 6,3mm konektory TRRS.



a označenie ako DMX512-A (postfix A ako asynchronous - asynchrónny). Doteraz posledná revízia prebehla v roku 2008, ktorá dopĺňa odporúčané konektory o 8-pinové “sieťové” RJ-45 z dôvodu šetrenia priestoru na malých zariadeniach. Plné označenie DMX512 je momentálne “ANSI E1.11 USITT DMX512-A”. [11] V súčasnej dobe sa pozornosť zameriava skôr na vývoj protokolu RDM, ktorý sa dá považovať za jeho nadstavbu (popísaný ďalej) a sieťové protokoly ktoré DMX512 enkapsulujú.

### 3.3.2 Spájanie zariadení

Komunikácia DMX512 je architektúry master-slave. Zariadenia, ktoré ovládame, sa navzájom sériovo spájajú za sebou, čím vzniká tzv. DMX linka. Každé zariadenie by malo mať 2 konektory - jeden pre vstup (DMX IN) a druhé pre výstup, pre zapojenie ďalšieho zariadenia na linke (DMX OUT, príp. DMX THRU)



*Obr. 3.1: Spájanie zariadení na DMX512 linke*

Takto za sebou dokážeme prepojiť toľko zariadení, koľko sme schopní adresovať v rozsahu 512 adres. Teoreticky môžeme pripojiť aj viac zariadení, za predpokladu, že niektoré z nich budú mať rovnaké adresy, čo ale znamená, že budú reagovať rovnako, ako bude vysvetlené neskôr.

Pri vedení dlhej kabeláže v rámci linky treba pamätať, že môžeme naraziť na limity budiča signálu v kontroléri. Podľa štandardu RS-485 má byť budič schopný budiť minimálne 32 zariadení na linke. V dnešnej dobe sú síce bežne používané budiče, ktoré dokážu budiť až do 256 zariadení, no pokiaľ signál musí putovať dlhými káblami v ktorých nastáva úbytok napätia, môže byť nutné zaradiť do siete zosilňovače signálu, tzv. opakovače (“repeatery”). Sú to jednoduché zariadenia, ktoré prijmu signál, zosilnia ho, a pošlú svojim výstupom ďalej. K svojej činnosti ale potrebujú zdroj napájania.

V prípade potreby môžeme DMX linku rozdeliť na viacero vetiev použitím tzv. rozbočovačov (“splitterov”). Okrem toho, podľa štandardu, rozbočovač signál posiadaný do jednotlivých vetiev aj zosilňuje (nahrádza opakovač) a všetky vetvy, aj

vstup od seba navzájom galvanicky oddeľuje. Vďaka tomu sa zabezpečí, že v prípade prerušenia linky alebo napr. poruchy niektorého zariadenia, bude postihnutá len dotyčná vetva siete. Vďaka rozbočovačom je tiež možné ušetriť veľké množstvo kabeľáže, záležiac od fyzického rozloženia zariadení v priestore. Niektoré profesionálne DMX rozbočovače navyše podporujú “reverzný” mód fungovania, kde “spájajú” 2 vstupy do jedného výstupu. V jednom čase sa je vždy prepojený len jeden vstup, no ak na ňom elektronika rozbočovača zaznamená výpadok signálu, rozbočovač sa prepne na druhý vstup, ktorý by mal obsahovať rovnaké dáta, no vedené po inom kábli. To sa používa na zabezpečenie redundancie v dôležitých aplikáciách, kde by malo prerušenie linky a tým výpadok ovládania všetkých svetiel fatálne následky.



Obr. 3.2: Štvorcestný DMX rozbočovač

Pokiaľ nastane situácia, že chceme pomocou DMX ovládať viac zariadení, ako sme schopní zaadresovať v rozsahu adries, musíme použiť ďalšiu DMX linku, ktorá nám vie poskytnúť ďalších 512 adries. To ale musí podporovať kontrolér či prevodník, ktorý DMX signál vytvára a musí sa na to použiť ďalší, samostatný výstup. Tieto samostatné linky nemajú z adresného ani fyzického hľadiska navzájom nič spoločné, predstavujú dve nezávislé segmenty siete, v ktorých “vidí” súvislosť len softvér alebo hardvér ktorý obstaráva ovládanie DMX siete. Každý takýto segment siete sa v odbornej terminológii nazýva ‘DMX universe’, v preklade DMX vesmír. Zariadenia, ktoré dokážu generovať viacero DMX segmentov bývajú ale drahšie a zložitejšie, určené pre profesionálne použitie. V praxi býva tento počet segmentov 2 (1024), 4 (2048) alebo 6 (3072 adries) na najdrahších osvetľovacích pultoch. Ešte väčší adresný rozsah už potom vieme dosiahnuť iba použitím sieťových protokolov,

spomenutých ďalej. Každé adresované zariadenie sa môže logicky nachádzať len v jednom segmente, pretože o žiadnom inom nevie ani s ním nemá elektrický kontakt.

### 3.3.3 Adresovanie

Každé zariadenie na linke musí mať nastavenú svoju adresu. Presnejšie povedané, ide o tzv. počiatočnú adresu, od ktorej zariadenie číta taký počet kanálov, koľko má od výroby stanovené. To, koľko to je, závisí od typu zariadenia a počtu funkcií, ktoré má a ktoré dokážeme protokolom DMX ovládať. Jednoduché zariadenia, ako reflektory majú často len malý počet kanálov, alebo len jeden. Zložitejšie svetlá, ako “scannery” alebo rotačné hlavy môžu používať aj desiatky kanálov. Niektoré zariadenia môžu mať aj viacero rôznych módov, pri ktorých používajú rozdielny počet kanálov. Daný mód sa potom nastavuje priamo na zariadení. Ak chceme adresovať viacero zariadení “za seba“, počet kanálov ktoré budú používať musíme bezpodmienečne vedieť.

Ak máme napríklad LED reflektor, ktorý používa 5 DMX kanálov a nastavíme mu adresu 20, potom bude čítať dáta z kanálov 20, 21, 22, 23, 24. Tieto kanály sa stávajú vyhradenými pre dané svetlo, a ostatné zariadenia na linke ich nemôžu používať, pretože by došlo k chybnému spávaniu. Inak povedané, kanály, ktoré používajú jednotlivé zariadenia sa nesmú prekrývať, ďalšiemu zariadeniu môžeme nastaviť adresu minimálne 25.

Existuje jediná výnimka kedy môže byť toto pravidlo porušené - ak cielene chceme, aby viacero rovnakých zariadení reagovalo spoločne. Potom im môžeme nastaviť rovnakú adresu, budú používať tie isté kanály, a budú sa správať úplne totožne. Zariadenia musia byť ale rovnaké, prípadne byť aj rovnako nastavené.

Adresa sa na zariadení nastavuje pomocou LCD displeja alebo na jednoduchých zariadeniach prostredníctvom tzv. DIP switchov - drobných páčkových prepínačov, pomocou ktorých nastavíme adresu v binárnom tvare. Každý prepínač nastavuje ekvivalentný bit na hodnotu bin.0 alebo bin.1. Jeho poradie určuje váhu príslušného bitového miesta (1-2-4-8-16-32-64-128-256). Súčtom hodnôt, ktoré sú nastavené na hodnotu bin.1 potom dostaneme požadovanú adresu. Pretože požadujeme adresný priestor s rozsahom 512 adries, bude mať adresa počet bitov 9, čo bude aj počet

potrebných prepínačov. Súčet všetkých zapnutých prepínačov dáva hodnotu 511, čo je aj najvyššia adresa, akú vieme v DMX nastaviť.

Prepínač číslo	Váha
1	1
2	2
3	4
4	8
5	16
6	32
7	64
8	128
9	256
10	rôzna funkcia

Tab. 3.1: Váhy jednotlivých DIP prepínačov

Napríklad, chceme zariadeniu nastaviť adresu 28. Docielime to zapnutím prepínačov s váhami 16, 8 a 4, pretože ich súčet dáva 28. V binárnom tvare je číslo 28 zapísané ako 000011100, čiže zapneme tretí, štvrtý a piaty prepínač v poradí.

V praxi sa ale častejšie používajú 10-prepínačové varianty, keďže sú dostupnejšie na trhu. Posledný 10-ty prepínač sa používa na rôzne účely, jeho funkcia je vždy popísaná v manuáli k zariadeniu. Väčšinou sa ním zapína automatický móď alebo testovací režim. Niektoré, najmä staršie zariadenia môžu mať aj menej ako 9 prepínačov, čo znamená, že im nedokážeme nastaviť akúkoľvek adresu z celého rozsahu, len takú, ktorú dokážeme dostať súčtom hodnôt všetkých prepínačov, ktoré sú k dispozícii.



Obr. 3.3: Pole DIP prepínačov



Obr. 3.4: LCD displej

### 3.3.4 Technické parametre

DMX512 je asynchrónny, poloduplexný (jednosmerný) sériový protokol, používaný na dvojvodičovej zbernici. Elektrické vlastnosti priamo preberá zo štandardu RS-485 (EIA485) a sú nasledovné [12]:

- Používa sa diferenciálny (symetrický) napäťový prenos po tienenej krútenej dvojlinke.
- Rozsah prípustného napätia na zbernici je od -7V do +12V.
- Možnosť pripojenia (maximálne) 32 prijímačov v jednom segmente.<sup>3</sup>
- Impedančné prispôsobenie linky s ukončovacím rezistorom na 120Ω.
- Minimálna zaťažovacia impedancia vysielacza je 60Ω.
- Maximálny skratový prúd vysielacza je 150mA voči zemi, 250mA voči +12V.
- Maximálna dĺžka káblu je 1200 metrov pri maximálnej prenosovej rýchlosti (400kBit/s).
- Počet segmentov nie je limitovaný.
- Budič musí byť schopný dodať zbernici rozdielové vstupné napätie od 1,5V do 5V.
- Budič musí mať ochranu pre prípad, že by sa viacero budičov naraz pokúšalo vysielat' na zbernicu.
- Prijímač musí mať minimálnu vstupnú impedanciu 12kΩ.
- Prijímač musí mať minimálnu vstupnú citlivosť +200mV.
- Prijímač musí mať kapacitanciu vstupu maximálne 125pF. [13]

Pre kratšie linky (do cca 50 metrov) s len zopár zariadeniami je možné použiť aj štandardné mikrofónne káble a nie je nevyhnutné používať ukončovací rezistor (nazýva sa terminátor) na konci linky. Pri stúpajúcej dĺžke kabeláže a množstve zariadení sa stáva použitie terminátora a kvalitnejších káblov s nižším kapacitným odporom a lepšími vlastnosťami viac dôležité.

---

<sup>3</sup> Preto sa často vyskytuje názor, že DMX512 dokáže obsluhovať len 32 koncových zariadení. To ale nie je pravda, pretože v prípade slabého budiča sa dá situácia jednoducho vyriešiť pomocou zosilňovača signálu. Dnes ale už existujú budiče, ktoré dokážu budiť až 256 zariadení.

Na prepájanie zariadení sa podľa štandardu používajú symetrické káble s vodičmi krútenými do dvojliniek, o impedancii  $120\Omega$ , ukončené 5-pinovým konektorom XLR-5. Na výstup signálu zo zariadenia sa používajú konektory typu F (dutinky) a na vstup sa používajú konektory typu M (kolíky). Orientácia konektorov je presne opačná ako pri zvukových zariadeniach, kde výstupom sú vždy konektory XLR/M a vstupom konektory XLR/F.

V praxi sa však rovnako často, najmä v lacnejších zariadeniach, používa 3-pinový konektor XLR, rovnaký ako v audio zariadeniach, čo je ale štandardom zakázané. Pri takomto použití treba dávať pozor, aby sa omylom kábel s DMX signálom nepripojil k nejakému audio zariadeniu, pretože napäťové úrovne DMX sú vyššie ako bežné audio signály a preto by mohlo dôjsť k poškodeniu audio zariadení; respektíve naopak, audio kábel na ktorom je prítomné fantómové napájanie (+48V) by pravdepodobne zničilo prijímače/vysielače vo svetelných zariadeniach.

Revízia E1.11 pridala medzi používané konektory aj RJ45/8P8C, t.j. štandardné “sieťové” konektory RJ-45, ktoré odporúča používať pri fixných inštaláciách. [13]

Zapojenie pinov XLR je podľa štandardu nasledovné:



Obr. 3.5: Číslovanie pinov konektorov XLR-3 a XLR-5

Pin	Vodič	Signál
1	tienenie	GND
2	1. pár (čierny)	data-
3	1. pár (biely)	data+
4	2. pár (zelený)	-
5	2. pár (červený)	-

Tab. 3.2: Zapojenie káblu ku konektoru XLR podľa štandardu

Vodiče/piny 4,5 sú podľa štandardu určené na vedenie sekundárnej dátovej linky. Nie je však definované, o aké dáta by malo ísť. Teoreticky by vďaka nim bolo možné prenášať druhý DMX segment po jednom kábli. Toto sa však v praxi nikdy nezaužívalo, pravdepodobne jednak kvôli nutnosti implementovať do zariadení, podporu výberu, ktorý pár vodičov v kábli sa má použiť, a jednak kvôli tomu, že pri prípadnom poškodení káblu by sa stratila kontrola nad rovno dvoma segmentmi siete.

Priebehom času sa vyskytli pokusy využiť zvyšný pár na vedenie napájania pre jednoduché koncové zariadenia či na zabezpečenie spätnej komunikácie svetelných zariadení s ovládacím pultom (čo ale už zabezpečil protokol RDM), nič z toho ale nebolo nikdy štandardizované, preto výrobcovia od snáh použitia zvyšného páru upustili a dnes sa nijak nepoužíva. Hoci to nesplňa podmienku štandardu, veľa dnes vyrábaných originálnych DMX káblov je len dvojžilových a piny 4 a 5 nie sú v konektoroch nikam pripojené. Dôvodom je, že 4-žilové káble sú značne drahšie ako 2-žilové. V prípade potreby prepojenia zariadení s konektormi XLR3 a XLR5 je možné použiť jednoduché káblivé prepajky, ktoré majú na oboch koncoch rozdielne konektory.



Obr. 3.6: DMX kábel (5pin)



Obr. 3.7: Prepajka z XLR5 na XLR3

### 3.3.5 Dátový formát

Dáta sú po zbernici posielané sériovo v paketoch, ktoré obsahujú 512 rámcov, tzv. slotov. Prenášajú sa len dáta bez adresy (adresa je daná implicitne polohou slotu v pakete), pričom každé zariadenie si odčítava poradové číslo slotu v rámci paketu a prečíta len tie bajty, ktorých rozsah im vyplýva z ich vlastnej počiatkovej adresy.



Paket má začiatok synchronizovaný signálom s nulovou hodnotou s označením Break (alebo aj Reset), ktorá trvá minimálne 92 $\mu$ s. Po ňom nasleduje synchronizačná medzera (MAB - Mark After Break) s vysokou úrovňou a dĺžkou minimálne 12 $\mu$ s. Ďalej nasleduje prvý slot (označovaný ako Start Code), ktorý neobsahuje žiadne dáta (ide vlastne o kanál 0). Po ňom nasleduje už maximálne 512 platných slotov, každý obsahujúci dáta pre jeden kanál. Každý slot sa skladá z 10 bitov - 1 start bit, 8 dátových bitov (1 bajt - hodnota 0-255) a 2 stop bitov. Prenos slotov prebieha pri rýchlosti 250kBaudov, z čoho vyplýva dĺžka trvania jedného slotu 44 $\mu$ s. Medzi jednotlivými slotmi a paketmi sa môžu navyše nachádzať časové medzery (MTBF (Mark Time Between Frames) a MTBP (Mark Time Between Packet)), obe o maximálnom trvaní 1s. Tento čas sa môže upravovať podľa požadovanej frekvencie prenosu. Prijímače musia kvôli kompatibilite vedieť rozpoznať jednotlivé stavy (Break a MAB) aj s dobami trvania o 4 $\mu$ s kratšími, ako sú definované pre vysieláče.

Pri štandardnom časovaní vieme dĺžku trvania vyslania jedného paketu vypočítať ako súčet trvania jednotlivých stavov:

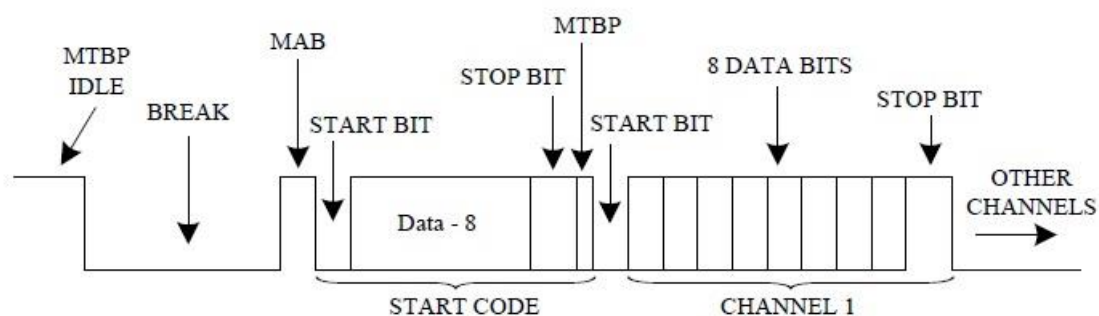
$$\text{Break} + \text{MAB} + (1 + 512) * \text{slot} = 88\mu\text{s} + 8\mu\text{s} + 513 * 44\mu\text{s} = 22\,668\mu\text{s}$$

t.j. frekvencia = 44,12Hz. Dátový prenos je cca spomínaných 250kBaud/s. [10]

Štandard však umožňuje vypustiť nevyužitý rozsah posledných DMX kanálov, t.j. všetky kanály po poslednom použitom sú nepovinné a nemusia sa vysielat'. Takto vieme pri použití len niekoľkých zariadení na linke skrátiť čas potrebný na vysielanie jedného paketu a tým výrazne zvýšiť obnovovaciu frekvenciu.

Pokiaľ sa na zbernici objaví stav dlhodobšieho výskytu vysokej alebo nízkej úrovne (dlhšie ako 1s), zariadenia to vyhodnocujú ako stratu signálu. Reakcia na tento stav nie je štandardom určená, no väčšinou zariadenia zostávajú v poslednej pozícii s rovnakými parametrami, ako bolo určené poslednými platnými dátami. Na zariadeniach s pokročilejšími nastaveniami sa väčšinou táto reakcia dá nastaviť, druhá voľba býva vrátiť sa do preddefinovanej pozície/stavu. [11][25]





Obr. 3.8: Časovanie protokolu DMX-512

č.	Stav	Prijímač [μs]	Min [μs]	Typ. [μs]	Max [μs]
1	Break (Reset)	88	92	176	
2	MAB (synchronizačná medzera)	4	8	-	1s
3	Rámec (Slot)		43,12	44	44,48
	jednotlivé bity rámca		3,92	4	4,08
4	MTBF (medzera medzi rámcami)		0	0	1s
5	MTBP (medzera medzi paketmi)		0	0	1s

Tab. 3.3: Tabuľka trvania jednotlivých stavov DMX512 [11]

### 3.3.6 Logická vrstva ovládania

Z pohľadu logickej vrstvy, každý kanál zvyčajne ovláda inú funkciu zariadenia.<sup>4</sup> Pri niektorých filtroch alebo mechanizmoch, ktoré potrebujeme ovládať so zvýšenou presnosťou (v menších krokoch) sa môžu na ich ovládanie použiť 2 kanály riadiaceho protokolu namiesto jedného, čím sa dosiahne zvýšenie presnosti nastavenia z 8 bitov (1 kanál; 256 krokov) na 16 bitov (2 kanály; 65536 krokov).

Každé zariadenie s podporou DMX má inú “schému” rozloženia funkcií na kanály. Presná tabuľka priradení a popisov funkcií musí byť vždy súčasťou manuálu. Pozrime sa napríklad na funkcie malej a jednoduchej LED rotačnej hlavy ADJ Focus Spot Two. Tabuľku z manuálu nájdeme v prílohe A.

<sup>4</sup> existujú (najmä staršie) zariadenia, pri ktorých jedným kanálom ovládame viacero funkcií, napr. gobo a farbu. V jednom čase potom vieme zariadeniu nastaviť buď farebný filter, alebo gobo obrazec, nie však obe naraz.

Zaužívaným zvykom pri zariadeniach, ktoré sú schopné hýbať svetelným lúčom býva, že prvé 2 kanály sú použité na nastavenie pozície/smeru lúča - X a Y, alebo PAN a TILT. PAN sa označuje pohyb v horizontálnej osi (X), zatiaľ čo TILT znamená pohyb vo vertikálnej osi (Y). Toto pravidlo je dodržané aj u tohto zariadenia. Tretím kanálom ovládame stmievanie - celkovú intenzitu svetelného lúča vystupujúceho zo zariadenia. Hodnota 0 prezentuje nulovú intenzitu a 255 prezentuje plný výkon. Ďalším kanálom ovládame farbu lúča. Keďže v tomto zariadení sa na nastavenie farby používa kotúč s farebnými filrami, ktorý sa vsunie do cesty lúča vnútri zariadenia, to ktorý filter sa použije sa nastavuje nasledovne. V tabuľke vidíme rozdelenie rozsahu hodnôt, ktoré môže kanál nadobúdať (0-255) na viacero intervalov. Každý interval zastupuje niektorú z farieb. Ak bude na kanáli prítomná akákoľvek hodnota z daného rozsahu, zariadenie použije daný filter. Poslednými dvoma intervalmi sa nastavuje konštantné otáčanie kotúča s filrami zvolenou rýchlosťou a smerom (podľa hodnoty). Tým sa dosiahne efekt stáleho prechodu farieb. Na veľa zariadeniach vieme nastaviť, aby sa kotúč otáčal - natočil plynulo, podľa toho aká presná hodnota je na kanáli prítomná. V takom prípade vieme lúču nastaviť kombináciu dvoch susediacich farieb v akomkoľvek pomere.

Pri zložitejších inteligentných svetlách, alebo pri jednoduchých farebných LED reflektoroch s RGB diódami sa používa na nastavenie farieb iný spôsob. Pre ovládanie farby sú vyhradené 3 alebo 4 kanály a každý z nich ovláda samostatnú farbu. Môže byť použitý model RGB, teda prítomné sú farby červená (Red), zelená (Green) a modrá (Blue), alebo model CMY, ktorý používa inverzné farby, azúrovú (Cyan), purpurovú (Magenta) a žltú (Yellow). Pomocou nich si vieme namiešať akúkoľvek farbu potrebujeme, pomocou sčítavania jednotlivých farebných zložiek. V prípade prítomnosti štvrtého kanálu (len LED zdroje), ten je vyhradený na nastavenie intenzity alebo odtieňu bielej farby (samostatné diódy), pretože sčítaním plnej intenzity všetkých troch farebných zložiek často nedostaneme dokonalú bielu ani na najkvalitnejších zariadeniach.

Týmito spôsobmi sa nastavujú všetky funkcie zariadení (viď zvyšok tabuľky). Buď zastupuje celý rozsah kanálu jednu funkciu, alebo je rozdelený na viacero rozsahov, ktoré ovládajú rôzne režimy, a podobne.

### 3.3.7 Wireless DMX

Bezdrôtová verzia protokolu DMX zatiaľ nie je nijako štandardizovaná, no rôzni výrobcovia vyvinuli vlastné riešenia na báze bezdrôtovej technológie IEEE 802.11 v pásme 2,4GHz alebo v rôznych iných frekvenčných pásmach. Architektúra býva buď jednoduchá bod-bod (point-to-point), teda jeden vysielač a jeden prijímač, ktoré sú spárované, alebo jeden vysielač a viacero prijímačov. Tieto bývajú často vo forme “donglov“, t.j. malých prijímačov ktoré sa pripoja priamo do konektora, kedy každé zariadenie má vlastný takýto dongle, a nie je (nemusí byť) káblovo spojené so žiadnymi ďalšími zariadeniami.



*Obr. 3.9: Sada bezdrôtového DMX vysielača a niekoľkých prijímačov*

Problémom týchto bezdrôtových riešení býva ale často stabilita a dosah signálu. Ich použitie môže byť praktické v jednoduchších aplikáciách, kde by bolo náročné viesť kabeľáž na veľké vzdialenosti, a kde nie je kritická 100%-ná spoľahlivosť spojenia. Príkladom môže byť spojenie architektonického osvetlenia alebo ambientné, ozdobné statické osvetlenie napríklad na svadbách, výstavách a podobne. Použitie v live produkcii na koncertoch a podobne, kde je nevyhnutná absolútna spoľahlivosť je aj v budúcnosti veľmi nepravdepodobné, pretože bezdrôtový systém môže byť vždy náchylný na rušenie alebo aj cieľený útok, kedy by mohol niekto cielene zahltiť používané pásmo a vyradiť z prevádzky celé riadenie svetelných efektov. Okrem toho by bolo nutné signál aj šifrovať, aby nebolo možné ho prípadným útočníkom pozmeniť alebo prebrať kontrolu nad svetelným parkom.

### 3.4 RDM

RDM (Remote Device Management, ANSI E1.20) je protokol rozširujúci bežný DMX512 o možnosť spätnej (opačnej) komunikácie v smere od svetelných zariadení do ovládacieho pultu. Vyvinula ho asociácia PLASA (Professional Lighting and Sound Association), ktorá sa v roku 2009 spojila s asociáciou ESTA, ktorá vyvíjala samotný DMX512. Dá sa povedať, že ide o relatívne nový protokol – hoci bol schválený v roku 2006, trvalo dosť dlho, kým bol širšie prijatý a začal sa nasadzovať a používať. Kým DMX prenáša iba dáta samotného riadenia, RDM paralelne sprostredkúva komunikáciu zabezpečujúcu manažment, nastavovanie a monitoring zariadení (dáta zo senzorov, chybové hlásenia, atď.) v sieti, na diaľku, priamo z osvetľovacieho pultu. Navyše, RDM funguje aj bez nastaveného platného DMX adresovania jednotlivých zariadení, čím sa stáva použiteľným okamžite po fyzickom pospájaní zariadení na linku a umožňuje ich aj priamo prostredníctvom seba naadresovať, bez nutnosti fyzicky sa k nim dostať. Je navrhnutý tak, aby mohol kooperovať na rovnakej linke, bez toho, aby rušil bežnú funkčnosť DMX512. Z technickej stránky pracuje tak, že vysielajúce zariadenie v nultom slotе (Start Code) DMX paketu, ktorý má podľa štandardu DMX obsahovať hodnotu 0, zapíše hodnotu 0xCC, ktorá ho identifikuje. Podľa štandardu DMX512 je povinnosťou každého prijímača kontrolovať, či je Start Code nulový. Vďaka tomu, ak akékoľvek zariadenie na linke nepodporujúce RDM prijme jeho paket (ktorý v Start Code neobsahuje nulovú hodnotu), jednoducho ho celý odignoruje. RDM pakety je teda možné bezpečne vkladať medzi bežné DMX pakety, bez rizika konfliktu, pričom stačí zabezpečiť, aby doba medzi dvoma DMX paketmi nebola dlhšia ako maximálne jednu sekundu (čo by zariadenia vyhodnotili ako stratu signálu). Keďže každé zariadenie podporujúce RDM je schopné na linku aj vysielat', aby sa predišlo konfliktu z tohto dôvodu, vždy je oprávnené vysielat' len jedno zariadenie na linke súčasne. Toto právo ("token") udeľuje RDM kontrolér striedavo všetkým zariadeniam na sieti (metóda Token Ring). Kontrolér môže byť priamo osvetľovací pult (alebo softvér s rozhraním), ak ten však RDM nepodporuje, je tu možnosť použiť samostatný RDM kontrolér, ktorý sa na linku pripojí pomocou tzv. injektora – zariadenia, ktoré vloží RDM pakety medzi pakety už existujúceho DMX signálu. Každé RDM zariadenie má vlastné jedinečné identifikačné číslo pozostávajúce z ID výrobcu a sériového čísla,

pomocou ktorého ho kontrolér adresuje. Samotná komunikácia prebieha pomocou príkazov GET a SET, pomocou ktorých sa čítajú/nastavujú požadované atribúty zariadenia. [24]

V roku 2010 dostal RDM štandard novú revíziu (ANSI E1.20-2010), v roku 2011 dostal prvý dodatok (ANSI E1.37-1), ktorý rozširuje príkazovú sadu o rôzne nové príkazy a v roku 2014 druhý dodatok (ANSI E1.37-2), ktorý rozširuje príkazovú sadu o príkazy zamerané na sieťovú konfiguráciu koncových zariadení. Vo vývoji je stále štandard ANSI E1.33 (protokol RDMnet), ktorý bude umožňovať prenos RDM dát cez IP siete (zatiaľ je k dispozícii tzv. Public Preview (ukážková) verzia protokolu). [13]

Hoci prebieha už jeho širšie nasadzovanie, RDM je ešte stále výsadou najdrahších zariadení a osvetľovacích pultov. Jeho budúcnosť je však nesporná a preto ho môžeme považovať za samozrejmosť v ďalšom vývoji svetelných zariadení.



Obr. 3.10: Mobilný ručný RDM tester



Obr. 3.11: RDM injektor od firmy JESE

### 3.5 ART-NET

Art-Net je protokol určený na prenos protokolov DMX512 a RDM cez ethernetovú sieť (prípadne aj Wi-Fi) založenú na protokolovej sade TCP/IP, vyvinutý taktiež asociáciou PLASA. Funguje na princípe enkapsulácie paketov spomínaných protokolov DMX512 a RDM do IP paketov, ktoré sa následne posielajú sieťou protokolom UDP, na porte 6454. Jednotlivé vysielače a prijímače v sieti sa nazývajú tzv. uzly (nody). Všetky majú IP adresu z rozsahu 2.0.0.0/8 a komunikácia medzi nimi funguje predvolene pomocou broadcastu, resp. unicastu/multicastu pri explicitne

nastavenom smerovaní (vysielač posiela dáta do konkrétneho prijímača/prijímačov). IP adresa sa zariadeniam môže nastavovať ručne, staticky, alebo sa v sieti môže nachádzať DHCP server. Art-Net dokáže adresovať až 32 768 DMX segmentov, každý po všetkých 512 kanálov. To dáva dokopy teoreticky nikdy nevyužitelnú kapacitu, no v praxi býva limitovaný priepustnosťou siete. Art-Net uzlami môžu byť hardvérové prevodníky s DMX512 XLR vstupmi/výstupmi na jednej strane a sieťovými RJ-45 portami na druhej strane, ale aj priamo zdrojové a koncové zariadenia, ako počítače, osvetľovacie pulty so zabudovanými sieťovými výstupmi a svetelné zariadenia s natívnou podporou Art-Net. [14][15]

Výhody, ktoré Art-Net prináša sú nesporné, je možné pomocou neho ovládať v podstate neobmedzené množstvo svetelných zariadení, rozdelených do množstva segmentov, smerovať ho pomocou bežných sieťových zariadení a ušetriť tým obrovské množstvo kabeľáže.

Istou nevýhodou Art-Net protokolu môže byť pravdepodobná neinteroperabilita s inými službami na sieti, kvôli fixnému adresovaniu na rozsah 2.0.0.0/8. Druhou možnou nevýhodou je nutná istá znalosť sieťových technológií a ich konfigurácií. [23]



*Obr. 3.12: Prevodník z DMX512 linky na Art-Net*

### 3.6 sACN

sACN (ANSI E1.31) je skratka pre Streaming ACN. ACN (Architecture for Control Networks, ANSI E.17) je balík sieťových protokolov určených pre ovládanie pódiovej techniky cez sieťové prostredie. Ide o relatívne nový štandard, vydaný v roku

2010, ktorý je založený na modularite. sACN je jedným z jeho rozšírení, určený na prenos DMX512 dát cez IP (resp. aj iné ACN kompatibilné) siete. Jeho účel je teda rovnaký ako účel protokolu Art-Net, s ktorým je aj veľmi principiálne podobný. Vyvinutý bol taktiež asociáciou PLASA, ako náhrada za starší Art-Net. Hoci by ho v budúcnosti mal nahradiť, v súčasnosti ide prakticky o priamych konkurentov. Rozdielom medzi nimi je, že sACN musí byť kompatibilný s nadradeným štandardom ACN, kvôli čomu musí byť jeho formát paketu zbytočne väčší, ako je pre jeho účel potrebné. sACN dokáže adresovať až 63 999 DMX segmentov, čo je takmer dvojnásobne viac ako protokol Art-Net. Art-Net má ale veľkú výhodu v tom, že je na trhu už dlhšiu dobu a v integrovanej podpore prenosu aj RDM dát. Pri protokole sACN treba pre prenos RDM dát použiť navyše ďalší protokol RDMnet. [16]

### **3.7 MA-NET**

MA-Net je komplexný proprietárny ethernetový protokol firmy MA-Lighting určený k preposielaniu (okrem iného) DMX a RDM dát medzi viacerými svetelnými konzolami a inými zariadeniami. Používa sa pri veľkých podujatiach, kedy je potrebné aby svetelný park ovládalo viacero ľudí naraz, každý so svojou konzolou. Alternatívne sa môže použiť na zabezpečenie redundancie hlavného pultu - v zálohe je pripojený záložný, okamžite schopný prevziať riadenie. Okrem riadiacich dát pre svetelné zariadenia dokáže MA-Net prenášať množstvo iných dát ako MIDI, časové kódy, multimediálne dáta (video pre LED obrazovky), atď. [17]

### **3.8 DALI**

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) je protokol určený pre ovládanie užitočného osvetlenia v budovách, prípadne okrasného - architektonického osvetlenia budov, kde je konkurentom DMX-512. Je to sieťovo založený protokol, kde sa v sieti môže nachádzať viacero master zariadení („driverov“, max. 10) a maximálne 64 koncových zariadení - svietidiel. Takáto sieť sa ale dá ďalej rozširovať - ku driverom môžu byť pripojené externé ovládače - spínače, otočné ovládače, a siete môžu byť



navzájom spájané alebo sa môžu vytvárať podsiete. DALI býva väčšinou integrovaný ako podsystém inteligentného riadenia budov/domácností. [18]

### 3.9 ILDA

ILDA (International Laser Display Association) je asociácia, ktorá vyvinula štandard ovládania laserových efektových zariadení a podľa nej sa tento štandard aj nazýva. Nejde v pravom zmysle o protokol, keďže na ovládanie laserov sa používa paralelný prenos analógových signálov z kontroléra do zariadenia v reálnom čase, ale o štandard, definujúci aké je zapojenie pinov na rozhraní kontroléra, aké sú prípustné napäťové úrovne na týchto pinoch a formát prenosu súradníc pre vykresľovanie obrazu laserovým lúčom. Každý pin/vodič riadi jednu funkciu laserového zariadenia, napr. polohu zrkadla v osi X, osi Y, intenzitu červeného lasera, intenzitu zeleného lasera, atď. Na prepájanie zariadení sa teda používajú mnohožilové káble, ktoré sú ukončené konektormi DB-25. Pre laserové zariadenia s menším množstvom funkcií (napr. len jednofarebné) existuje neoficiálna zjednodušená verzia štandardu nazývaná easyILDA, ktorá používa 8-pólové konektory RJ-45. Nevýhodou štandardu ILDA je, že hoci je možné spojiť viacero laserových zariadení sériovo za sebou, budú reagovať rovnako. Na individuálne ovládanie viacerých laserov je potrebných viacero ILDA výstupov, pre každý laser samostatný. Pri veľkých vzdialenostiach medzi zariadeniami je toto riešenie teda veľmi problematické. Riešením je nový štandard/protokol vydaný v roku 2015 s názvom IDN (ILDA Digital Network), ktorý enkóduje ILDA dáta do digitálnej podoby a umožňuje ich prenášať sieťovým prostredím. [19]



Obr. 3.13: Rozhranie ILDA na zadnom paneli laserového zariadenia



## 4 METÓDY OVLÁDANIA SVETELNÝCH ZARIADENÍ

Táto kapitola je venovaná tomu, ako je možné ovládať svetelné zariadenia na používateľskej úrovni – z pohľadu osoby, ktorá ich obsluhuje. V predchádzajúcich kapitolách sme sa dozvedeli, ako pracujú dátové protokoly používané na riadenie týchto zariadení a ako sa tieto zariadenia adresujú. Keďže ako už bolo spomenuté, v súčasnosti sa používa takmer výhradne protokol DMX512, prípadne enkapsulovaný do iných protokolov, budeme považovať jeho použitie za samozrejmosť. To znamená, že máme k dispozícii 512 riadiacich kanálov, z ktorých každý môže nezávisle nadobúdať hodnotu od 0 po 255. Ak máme viac zariadení a potrebujeme viac adresného priestoru, môžeme získať ďalších 512 kanálov z každého ďalšieho segmentu (univerzu), ktorého signál dokážeme generovať.

Existuje viacero druhov zariadení, ktoré dokážu signál DMX generovať. Toto rozdelenie prirodzene vyplýva z faktu, že DMX512 je široko používaný v rôznych sférach priemyslu, od jednoduchých použití, kedy ovláda len niekoľko málo svetiel, po najväčšie svetové festivaly, televízne projekty a kultúrne udalosti, kde sa používajú desiatky až stovky svetelných zariadení rôznych typov a od rôznych výrobcov.

### 4.1 JEDNODUCHÉ OSVETĽOVACIE PULTY

Sú to relatívne jednoduché samostatne fungujúce, používateľsky ľahko pochopiteľné zariadenia, ktoré pre svoju funkčnosť nepotrebujú žiadne skoršie naprogramovanie ani nastavovanie. Často ani nedokážu generovať celý rozsah DMX kanálov a sú obmedzené len na nejaký malý počet, napr. 12, 36, 128, 256 kanálov. (Z tohto dôvodu je riešená aj praktická časť tejto práce). Zvyčajne sú vybavené niekoľkými posuvnými potenciometrami<sup>5</sup> – tzv. “fadermi“, z ktorých každý ovláda hodnotu jedného DMX kanálu. Keďže tých je zvyčajne viac ako máme k dispozícii faderov, bývajú rozdelené do skupín (tzv. baniek) s pravidelným rozstupom

---

<sup>5</sup> odvodené od angl. fade – stmievať, ďalej budú posuvné potenciometre v texte označované ako fadery, keďže v slovenčine neexistuje ekvivalentný výraz

vyplývajúcim z toho, koľko faderov máme k dispozícii. Pre príklad si predstavme pult s ôsmimi fadermi. Potom v banke č.1, 1. fader ovláda DMX kanál č.1, 8. fader ovláda kanál č.8. Po prepnutí na banku 2 ovláda 1. fader kanál č.9 a 8. fader kanál č. 15, a tak ďalej. Tieto banky zvyknú byť pomenované ako indexy zariadení, ktoré bude pult ovládať. Ak pri adresovaní na tento fakt myslíme a nastavíme zariadeniam také adresy, ktoré zodpovedajú začiatočným adresám v každej banke, potom každá banka predstavuje ovládanie jedného zariadenia. Tieto pulty nevedia aké zariadenia “na konci linky” ovládajú, generujú signál “naslepo”. Opak tohto stavu je vysvetlený pri profesionálnych pultoch.

Podľa ceny týchto pultov sa odvíja aj ich ďalšia funkčná výbava – môžu byť vybavené pamäťou, do ktorej sa dajú uložiť vopred nastavené statické svetelné scény a dynamické sekvencie (označované ‘chase’), LED či LCD displejom zobrazujúcim nastavenú hodnotu posledne pohnutým faderom, rotačnými enkodérmi, pomocou ktorých sa lepšie nastavujú kanály pre rotáciu zariadenia, automatickým krokováním programov podľa hudby, atď. Cena týchto pultov sa pohybuje od 100 po niekoľko 100eur. Vyrába ich veľké množstvo výrobcov, často veľmi podobné až rovnaké zariadenia s mierne odlišným dizajnom.



*Obr. 4.1: Jednoduchý pult DMX Operator 192 od firmy Eurolite*

## 4.2 PROFESIONÁLNE OSVETĽOVACIE PULTY

Za spodnú hranicu profesionálnych osvetľovacích pultov môžeme označiť pulty, ktoré vedú, s akými cieľovými zariadeniami (svetlami) komunikujú, a podľa toho prispôbujú svoje správanie, používateľské rozhranie a ponúkané funkcie. Pred začatím používania im musíme nastaviť, na akých kanáloch (a v akých segmentoch)

sa nachádzajú jednotlivé zariadenia, aj to, o aké zariadenia presne ide. Tieto pulty majú väčšinou zabudovanú databázu/knižnicu väčšiny existujúcich svetelných zariadení všetkých typov a značiek, a tá navyše býva výrobcom spravovaná a pravidelne aktualizovaná. Súborný v tejto databáze sú individuálne pre každý model zariadení a nazývajú sa “personality“. Proces, pri ktorom pultu nastavujeme toto rozdelenie zariadení v adresnom priestore sa nazýva “patchovanie“. Tento proces sa dá zjednodušiť s pomocou protokolu RDM (opísaný v predchádzajúcej kapitole), ktorý prináša možnosť automatického vyhľadávania aj adresovania zariadení.

Z hľadiska vyhotovenia, výsadou moderných profesionálnych pultov býva jedna alebo viacero veľkých, väčšinou dotykových obrazoviek, ktoré sprostredkujú používateľské rozhranie softvéru, ktorý v nich beží. Z technického hľadiska sú to vlastne počítače so špecializovanými vstupno-výstupnými portami, umiestnené do tela osvetľovacieho pultu. Väčšina týchto pultov dokonca beží na embedded<sup>6</sup> verziách známych operačných systémov ako Windows či Linux. Ďalej sú vybavené posuvnými potenciometrami – fadermi, obvykle väčším množstvom – často aj desiatkami. Ich funkcia býva ale iná, ako u jednoduchých pultov. U týchto profesionálnych pultov býva ďalej samozrejmosťou výstup viacerých DMX segmentov, priama podpora sieťových protokolov a prítomnosť integrovaných sieťových kariet. Ich cena sa začína od 1000eur za najlacnejšie modely a čínske klony zariadení prestížnych výrobcov a končí na desiatkach tisícov eur za tzv. arénové pulty (odvodené od aréna) určených pre najväčšie podujatia. Tieto systémy sú navyše zväčša modulárne, k pultom sa môžu pripájať doplnkové tzv. ‘wing’ moduly (v preklade krídla), ktoré rozširujú počet dostupných faderov alebo iných ovládacích prvkov, alebo sa môžu celé pulty spájať navzájom (napr. pomocou protokolu MA-Net) za účelom spolupráce alebo redundancie.

Čo sa týka samotného ovládania, tu sa prístup jednotlivých výrobcov z časti líši. Väčšinou ale ide o princíp používania tzv. ‘submaster’ funkcií, ktoré budú vysvetlené ďalej, s rozdielom, že ho rôzni výrobcovia mierne odlišne implementujú. Pokročilejšou metódou je predprogramovanie celých blokov svetelnej šou, ktoré sú

---

<sup>6</sup> verzie OS určené pre detašované hardvérové zariadenia, ktorým poskytujú platformu pre beh vlastného softvéru, no nie je potrebná ich vybavenosť funkciami pre bežného používateľa

následne spúšťané a synchronizované s reálnym priebehom vystúpenia pomocou časového kódu.



*Obr. 4.2: Osvetľovacie pulty Avolites Sapphire Touch a Chamsys MQ100*

### **4.3 SOFTVÉR S HARDVÉROVÝM ROZHRAŇÍM**

Tretou kategóriu sú programy pre bežné počítače či notebooky, ku ktorým je potrebné vlastniť hardvérové rozhranie (‘interface’), ktoré sa k počítaču pripojí väčšinou pomocou USB portu, a ktoré generuje samotný DMX signál. Väčšinou ide o jeden DMX segment, no existujú aj rozhrania vybavené dvoma či troma portami, pričom niektoré z nich môžu byť konfigurovateľné buď ako výstupné, alebo ako vstupné. Vďaka vstupným portom môžeme používať na ovládanie aj hardvérový osvetľovací pult, ktorého výstup sa pripojí na počítač a je ho možné ďalej ovplyvniť softvérom, alebo k nemu len pridať ďalšie kanály, riadené iba softvérom. [19]

Zaužívaným riešením je, že výrobcovia týchto softvérov majú vlastné rozhrania určené priamo pre ich softvér, ktorý sám o sebe býva na stiahnutie zadarmo, no bez príslušného rozhrania z neho nie je možné dostať von vygenerovaný DMX signál žiadnou inou cestou. Tento prístup prináša veľkú výhodu v tom, že potenciálny zákazník si môže softvér vyskúšať, zistiť či mu vyhovuje, porovnať si ho s konkurenčnými riešeniami. Keď sa rozhodne ho používať, kúpi si a zaplatí za interface danej firmy a ten poslúži zároveň ako hardvérový kľúč k softvéru. Druhá veľká výhoda vyplýva pre samotného výrobcu, ktorý môže vďaka tomu, že pracuje

s vlastnou hardvérovou aj softvérovou platformou, zabezpečiť dobrú stabilitu, kompatibilitu a spoľahlivosť, ktorá je v tomto priemysle veľmi dôležitá.



*Obr. 4.3: USB - DMX512 rozhrania od firiem Nicolaudio a Avolites*

Existujú aj programy, ktoré sú k dispozícii ako freeware a pracujú aj s rôznymi neznámkovými rozhraniami, ktoré môžu byť založené len na jednoduchej elektronike tvoriacej prevodník z USB na sériový port a následne prekonvertovaním napät'ových úrovní na štandard RS-485 (súvislosť štandardov je bližšie vysvetlená v predchádzajúcej kapitole). Týmto sa tieto software programy s hardvérovými rozhraniami stávajú najlacnejším riešením generovania DMX signálu, začínajúcim už na jednotkách až desiatkach eur, po maximálne niekoľko sto eur za softvér renomovaných spoločností vyrábajúcich aj profesionálne hardvérové pulty. Tie túto oblasť trhu pokrývajú tak, že svoj softvér z profesionálnych pultov extrahujú do aplikácie pre bežné počítače, prípadne obmedzia ich funkcionality (napríklad limitujú výstup na jeden segment) a vyrobia k nim jednoduché USB rozhranie. Tak môže používateľ získať profesionálny softvér, totožný s tým v najdrahších pultoch, za zanedbateľný zlomok ich ceny. Preto je toto riešenie veľmi obľúbené pre mnoho používateľov, osvetľovačov, ale aj klubov, diskoték a podobne.





Obr. 4.4: Prostredie obľúbeného softvéru Sunlite Suite 2 od firmy Nicolaudio

Počas samotného osvetľovania akcie je veľmi nepohodlné a neefektívne pohybovať sa v prostredí programu pomocou myši a kurzoru. Preto sa toto riešenie často obohacuje ešte o použitie hardvérovej konzoly, ktorá sa k počítaču pripája väčšinou tiež pomocou portu USB, ktorý emuluje protokol MIDI. MIDI je univerzálny protokol na komunikáciu dát a inštrukcií medzi pôvodne zvukovými zariadeniami, vďaka svojej univerzálnosti ale našiel využitie aj v príbuzných oblastiach. Na ovládacie prvky na konzole (tlačidlá, enkodéry, fadery) si potom dokážeme v prostredí programu namapovať akúkoľvek funkciu, spúšť scén, sekvencií a podobne. Takéto ovládanie je potom veľmi efektívne a približuje sa až k použitiu profesionálnych pultov. Obzvlášť vhodné je na živé použitie, kedy svetlá ovládame v reálnom čase v priebehu akcie. Pre jednoduché a často sa opakujúce úkony použijeme konzolu, a pre vykonanie zložitejších nastavení siahneme po myši. [20]



Obr. 4.5: MIDI konzola Behringer BCF2000

Rovnako ako pri profesionálnych pultoch, aj softvéru musíme najprv nastaviť, s akými zariadeniami a na akých adresách bude pracovať (patchovanie), pomocou personalít jednotlivých zariadení. Následne môžeme tieto zariadenia ovládať individuálne, po skupinách, alebo spoločne podľa typu zariadenia. Konkrétny prístup závisí od konkrétneho programu a jeho nastavenia.

### **4.4 METÓDY OVLÁDANIA**

Doposiaľ popísané typy zariadení i softvér umožňujú samotné ovládanie vykonávať rôznymi spôsobmi. Každý výrobca pultov či softvéru používa trochu rozdielnu filozofiu ovládania. Tieto metódy majú svoje približné pomenovania, resp. existujú pojmy, ktorými ich dokážeme vystihnúť:

scény – scéna je statická, nemenná kombinácia stavov viacerých zariadení. Ich použitie nájdeme hlavne pri architektonickom nasvietení, nasvietení nejakých priestorov, počas prestávok v programe, atď., kedy nie je potrebné nastavenia rýchlo meniť

sekvencie – (‘chase’) sú to cyklicky sa opakujúce postupnosti viacerých scén. Môžeme nastaviť rýchlosť tohto cyklu, alebo sa môže krokovať automaticky, napr. podľa rytmu hudby. Ide o vhodné riešenie, ktoré vyžaduje minimálne množstvo obsluhy, ak nie je (momentálne) potrebná veľká pestrosť svetelných efektov.

live – znamená, že jednotlivé atribúty svetiel ovládame v reálnom čase, naživo, prispôbujeme sa priebehu aktuálnej hudobnej skladby alebo iným okolnostiam

scény, programy – ide tiež o živé ovládanie, no značne zjednodušené, použitím vopred pripravených čiastočných scén a sekvencií, ktoré zoskupujú nastavenia viacerých atribútov do jedného tlačidla alebo faderu. Nevýhodou je, že nedokážeme v reálnom čase zrealizovať našu predstavu, čím svetelná šou stráca na dynamike, a tým že väčšinou striedame tie isté scény, tak aj na pestrosti

override, submasters – ide o navzájom podobné funkcie, ktoré vytvárajú kompromis medzi dvoma vyššie spomenutými spôsobmi. Ich princíp spočíva v tom, že ako hlavná beží nejaká scéna alebo program (‘master’), do ktorého ale môžeme

zasiahnuť a niektoré jeho atribúty “prepísať” resp. prekryť iným nastavením (‘submaster’) s väčšou prioritou. Týchto ‘submaster’ funkcií môžeme mať naraz aktívnych viac, pričom každý môže ovplyvňovať iný atribút, alebo sa ich prednosť môže určiť podľa ich nastavenej priority, alebo podľa času, kedy boli aktivované (napr. posledný má prednosť). S použitím tejto techniky vieme vrátiť do šou naspäť pestrosť, no nevýhodou je skomplikovanie “situácie” nastavení, ktorú musí mať osvetľovač v hlave, aby ju vedel rýchlo meniť.

timecoded – ide o spôsob, kedy je celá postupnosť scén a programov na nejaký čas (napr. pre jednu skladbu) vopred naprogramovaná spolu aj s presným načasovaním. Nutnosťou je v tomto prípade presná synchronizácia so zdrojom hudby pomocou časového kódu (timecode protokolu). Pomocou tejto metódy sa dajú vytvárať veľkolepé, detailne prepracované šou s obrovským množstvom zariadení, ktoré by v reálnom čase nebola šanca ovládať. Používa sa väčšinou na festivaloch elektronickej hudby, spolu s odpaľovaním pyrotechniky, a na koncertných turné, kedy hrá kapela stále ten istý zoznam piesní a preto je možné si vopred pripraviť šou, ktorá sa tiež stále opakuje. Nevýhodou tejto metódy je ale nutnosť vopred vedieť aké skladby bude kapela/DJ hrať, čo často nie je možné zistiť/vedieť.

## ***4.5 PREDPROGRAMOVANÉ ZDROJE SIGNÁLU***

Za predprogramované zdroje môžeme považovať zariadenia, do ktorých sa pomocou PC (alebo z nejakého média) nahrá vytvorený program – cyklus svetelných scén a tieto generátory ho následne stále dookola prehrávajú. Takéto správanie podporujú tiež niektoré hardvérové prevodníky k skôr spomenutým počítačovým softvérom, ako samostatný mód označujúci sa ako tzv. ‘StandAlone’ (samostatne-fungujúci). Môžeme sem zaradiť aj tzv. DMX rekordéry, ktoré sa pripoja na DMX linku s ovládačom a dokážu si nahráť nejakú dobu signálu, ktorú následne taktiež prehrávajú a generujú cyklicky dookola. Tieto predprogramované zdroje svoje využitie nachádzajú hlavne pri architektonickom svietení budov či objektov, alebo na ovládanie ozdobných a ambientných svetiel v podnikoch a podobne, kedy je ideálna



pomalá rýchlosť zmeny, nezávislá od hudby ani iných podmienok, striedajúca jednoduché nastavenia, napr. zmeny farby. Veľa takýchto zariadení obsahuje tiež I/O porty na pripojenie jednoduchých externých prepínačov a tlačidiel, ktorými si vieme navoliť konkrétnu z prehrávaných sekvencií, zmeniť ich rýchlosť a podobne. Ďalšou užitočnou funkciou môžu byť časové spúšťače (tzv. triggery), ktoré začnú prehrávať sekvenciu v nastavený reálny čas, napr. o nejakej hodine.



*Obr. 4.6: Pokročilý DMX rekordér do racku od firmy Stairville*

## 4.6 AUTOMATICKÉ REŽIMY

Ako posledná možnosť je použitie zabudovaných automatických režimov inteligentných svetelných zariadení. Tie bývajú väčšinou typu chase (sekvencia), kedy sa opakuje dookola nejaká výrobcom nastavená sekvencia scén, ktoré sa skokovo menia alebo sa plynule prelínajú. Ďalšou možnosťou bývajú tzv. ‘Random‘ (náhodné) režimy, kedy si zariadenia v nejakom intervale náhodne generujú kombinácie atribútov. Obe možnosti môžu byť navyše krokované automaticky pomocou rytmu hudby, vďaka vstavanému mikrofónu, ktorým je drvivá väčšina zariadení vybavená. Tento režim býva označovaný ako ‘Sound‘ (zvukový) mód.

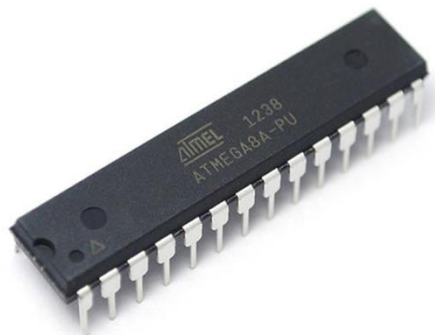
Zvyčajne zariadenia podporujú režim tzv. ‘Master‘ módu, kedy počas automatického režimu zároveň samé generujú DMX signál svojho aktuálneho stavu, a ostatné zariadenia (rovnakého typu) na rovnakej DMX linke tento stav kopírujú (správajú sa ako podriadené). Tieto automatické režimy ale väčšinou nebývajú veľmi pestré a nevieme ich ovplyvniť (napr. obmedziť rotačným hlavám priestor pohybu, aby nesvietili za seba do steny, apod.). Ich použitie teda býva vhodné len na najjednoduchšie situácie alebo ako záloha, ak zlyhá zdroj DMX signálu.

## 5 PRAKTICKÁ ČASŤ - DMX MOST

Praktickou časťou práce bolo navrhnutie a zhotovenie zariadenia, mostu, ktorý bude spájať (multiplexovať) (aspoň) 2 linky DMX512 signálu do jednej. Prakticky to znamená, že dáta z dvoch samostatných zdrojov vieme spojiť do jedného toku – jedného káblu. Takýto proces štandard DMX512 natívne nepodporuje, no v praxi býva niekedy potrebný. V prípade tejto práce bolo účelom naplniť potrebu multimediálneho ateliéru Žilinskej univerzity, kde je potrebné z réžie ovládať väčšie množstvo halogénových reflektorov rozmiestnených po štúdiu. K dispozícii sú 2 osvetľovacie pulty, avšak oba s limitovaným množstvom kanálov, ktoré nedokážu pokryť celý svetelný park. Dobrým riešením je práve takýto most, ktorý signály z oboch pultov spojí do jedného segmentu. Prvým alternatívnym riešením by bolo rozdelenie kabeláže do dvoch samostatných liniek, pričom by každý pult ovládal jednu z nich. To je ale neefektívne (zložitejšia kabeláž a dokumentácia, potrebné väčšie množstvo káblov). Druhou alternatívou by bolo zakúpenie ďalšieho, drahšieho osvetľovacieho pultu, ktorý by dokázal adresovať celý priestor DMX512. To by bolo ale ekonomicky nevýhodné a neužitočné, pretože pre potreby daného ateliéru by zostali pokročilé možnosti drahšieho zariadenia nevyužitú. Optimálnym riešením je teda práve most, vďaka ktorému je navyše možné efektívne rozdeliť ovládanie svetiel, napr. podľa ich umiestnenia v štúdiu, medzi oba jednoduché pulty, čo sprehľadní ovládanie svetelného parku.

Riešenie som sa rozhodol postaviť na mikrokontroléroch AVR od spoločnosti Atmel (Microchip), nakoľko som s nimi mal predchádzajúce skúsenosti. AVR je rodina (prevažne) 8-bitových mikropočítačov s redukovanou inštrukčnou sadou (RISC), založených na harvardskej počítačovej architektúre (oddelená pamäť pre program a dáta). Integrovanú majú radu periférií, ako ADC a DAC prevodníky, časovače, počítadlá, komunikačné jednotky, atď. O výhodách a veľkej popularite AVR svedčí aj fakt, že je na nej založená aj drvivá väčšina veľmi známej platformy Arduino. AVR je možné programovať v nízkoúrovňovom programovacom jazyku Assembler, alebo vo vysokoúrovňových jazykoch C/C++ za pomoci kompilátora, ktorý kód preloží do symbolických inštrukcií. [21]

AVR sa delí na niekoľko sérií, pričom každá je špecifická pre rôznu zložitosť a vybavenosť mikrokontrolérov. Najjednoduchšou je rodina ATtiny, nasleduje najobsiahlejšia rodina ATmega, výkonnejšie ATxmega, 32-bitové AVR a nakoniec špecializované modely.



*Obr. 5.1: Mikrokontrolér ATmega8A od firmy Atmel*

Práve séria ATmega spĺňa potrebné požiadavky aj pre túto aplikáciu – obsahuje dostatočné množstvo I/O pinov, pamäte pre program aj pamäte RAM, má integrované hardvérové jednotky pre sériovú komunikáciu (USART - Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter), ktoré sa použijú pre čítanie DMX dát, a rozhranie SPI (Serial Peripheral Interface) na komunikáciu medzi viacerými mikrokontrolérmi navzájom. Konkrétne požiadavky boli nasledujúce:

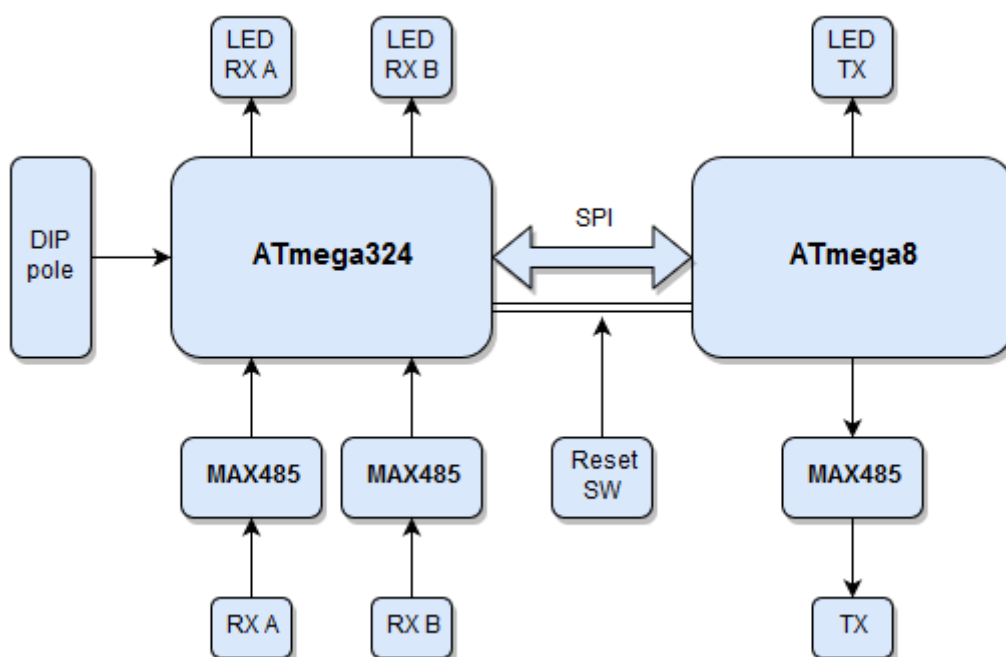
- aspoň 2kB pamäte pre program
- minimálne 1kB pamäte RAM pre dáta (512x1B pre každý kanál + iné premenné)
- minimálne 3x USART jednotka (2x pre príjem DMX + 1x pre vysielanie)
- aspoň 1 voľný I/O register (8 pinov, pre stavové LED atď.)
- prevedenie v puzdre DIP

Tieto požiadavky ako prvá v rade spĺňa ATmega3208, bohužiaľ sa ale ani ona, ani žiadna iná ATmega s integrovanými tromi USART jednotkami nevyrába v puzdre DIP, iba v puzdách určených na SMD montáž, ktorá je oveľa komplikovanejšia na výrobu. Kvôli tomuto faktoru som bol nútený rozdeliť projekt do dvoch mikrokontrolérov, ktoré budú navzájom komunikovať a posilať si dáta prostredníctvom protokolu SPI. Logicky najvhodnejšie rozdelenie je použiť jeden „väčší, hlavný“ mikrokontrolér, ktorá bude obsahovať 2 USART jednotky na príjem

dvoch tokov DMX, ktoré spojí do jedného poľa a to prostredníctvom SPI odošle to druhého, jednoduchšieho mikrokontroléra, ktorý ho len odvysiela pomocou svojej jednej USART jednotky. Ako najvhodnejší hlavný mikrokontrolér vychádza ATmega324, ktorá ponúka 32kB pamäte pre program, 2kB pamäte RAM, 2 samostatné USART jednotky, 1 jednotku SPI a vyrába sa v 40-pinovom puzdre DIP. Ako druhý mikrokontrolér by na prvý pohľad stačilo použiť aj mikrokontrolér z jednoduchšej série ATtiny, žiaden z nich ale neobsahuje viac ako 512B pamäte RAM. Preto je prvou vhodnou voľbou základný mikrokontrolér z rady ATmega, ATmega8, ktorý ponúka 8kB pamäte pre program, 1kB pamäte pre dáta, 1x jednotku USART, 1x jednotku SPI, vyrába sa v menšom, 28-pinovom puzdre DIP a je veľmi ľahko dostupný. ATmega324 bude v SPI komunikácii vystupovať ako Master zariadenie a taktiež do nej budú pripojené prepínače DIP určené na nastavenie hraničnej adresy. ATmega8 bude fungovať ako SPI slave a prijaté dáta hneď odošle prostredníctvom USART.

## 5.1 SCHÉMA ZAPOJENIA

Bloková schéma celého zapojenia je nasledujúca:



Obr. 5.2: Bloková schéma zapojenia mostu

Elektrická schéma s konkrétnymi súčiastkami bola vytvorená v softvéri Autodesk EAGLE. Nachádza sa v prílohe A.

Obvod začína napájacou časťou, tvorenou stabilizátorom napätia LM7805, ktorý zníži a stabilizuje vstupné napätie 12V z konektora, na 5V potrebných pre napájanie ostatných integrovaných obvodov. V jeho okolí sa nachádzajú keramické kondenzátory potrebné pre jeho činnosť. Výstup zo stabilizátora je ďalej šírený a označovaný ako vetva VCC. Sú ním napájané oba mikrokontroléry ATmega aj prevodníky MAX485, a cez pull-up rezistor je VCC pripojené aj na reset vstupy oboch mikrokontrolérov, čo ich udržiava v prevádzkovom stave. Pri ATmega324 sa nachádza kryštál, ktorý zabezpečuje jeho taktovanie. Na oba jeho výstupy sú pripojené keramické kondenzátory, ktoré zabezpečujú jeho fungovanie a vznik oscilácií. Kvôli synchronizácii oboch mikrokontrolérov nie je ATmega8 taktovaná druhým oscilátorom, ale pomocou výstupu taktovacieho signálu z ATmega324. Oba mikrokontroléry sú prepojené zbernicou SPI, obsahujúcou 5 vodičov plus jedným vodičom zabezpečujúcim signalizáciu konca prenosu jedného paketu. Z ATmega324 je vyvedený konektor, na ktorý sa pripojí pole s DIP prepínačmi, nastavujúcimi hraničnú adresu (9 prepínačov) a správanie pri výpadku vstupného signálu (10-ty prepínač). Výstup/vstupy USART jednotiek oboch mikrokontrolérov sú spojené s prevodníkmi napäťových úrovní MAX485. Medzi ich vstupy/výstup symetrického signálu je pripojený rezistor o hodnote  $120\Omega$ , ktorý impedančne prispôsobuje DMX linku podľa štandardu. Za ním sú tieto vstupy/výstup vyvedené na konektory. Na obe ATmegy sú prostredníctvom konektora a cez rezistor pripojené signalizačné diódy indikujúce prítomnosť platného prijímaného/vysielaného DMX512 signálu. Poslednou súčiastkou je mikrotlačidlo pripojené medzi GND a reset vstupy mikrokontrolérov, zabezpečujúce možnosť ich resetovať.

## **5.2 OBVODOVÁ DOSKA**

Návrh dosky plošného spoja (PCB) bol taktiež vytvorený v softvéri Autodesk EAGLE. Nachádza sa v prílohe C.

Návrh je určený pre jednovrstvové vyhotovenie zo spodnej strany dosky a súčiastky montovateľné na hornú stranu dosky. Keďže na niekoľkých miestach sa

cesty neriešiteľne krížia, prepojenie sa vykoná ručne kúskom vodiča prechádzajúcim po hornej strane dosky.

Na osadenie všetkých integrovaných obvodov sú použité príslušné päťice, aby bola umožnená ich vymeniteľnosť. Kryštál je umiestnený v čo najväčšej blízkosti pinov mikrokontroléra, aby sa predišlo možnosti indukcií rušenia. Pripojenie všetkých vstupov/výstupov (DMX dáta, napájanie, DIP pole) je realizované pomocou pinových konektorov. Tie sú spolu s reset mikrotlačidlom situované po okrajoch dosky, aby sa zabezpečila dobrá manipulovateľnosť. Pod stabilizátorom napätia LM7805 sa nachádza zachovaná plocha medi, určená na odvod tepla zo súčiastky.

Vo všetkých štyroch rohoch dosky sa nachádzajú diery pre montáž dosky do krabičky.

### **5.3 FIRMVÉR**

Firmvér oboch mikrokontrolérov bol naprogramovaný v jazyku C, v IDE prostredí Code::Blocks. Na kompiláciu som použil oficiálny AVR GNU Toolchain (sada kompilátora a iných nástrojov) od firmy Atmel. Na nahranie programu do mikrokontroléra som použil USB-asp programátor, zapisujúcim dáta do mikrokontroléra ISP metódou (In-System-Programming), prostredníctvom rozhrania SPI + reset. Celý zdrojový kód firmvéru pre oba mikrokontroléry sa nachádza v prílohách E (ATmega324) a F (ATmega8).

Väčšina kódu je postavená na prerušeníach (funkciách, ktoré sa spustia pri nejakej udalosti). V RAM pamäti oboch mikrokontrolérov je alokované pole o veľkosti 512 bajtov, do ktorého sa ukladajú dáta jednotlivých DMX kanálov, a ktoré je zdieľané so všetkými funkciami. Z DIP prepínačov je v ATmega324 určená hraničná adresa, podľa ktorej sa riadi ukladanie dát z prečítaných slotov z jednotlivých vstupov do tohto poľa. Ak slot nespadá do intervalu kanálov pripadajúcich na daný vstup, do poľa sa ani neukladá. Na základe stavu 10.-ho DIP pinu sa rozhoduje, či sa po strate vstupného signálu z poľa jeho dáta vymažú, alebo zostanú uložené a vysielané naďalej (funkcia "buffer").

Jadro firmvéru tvoria funkcie a prerušenia určené na dekódovanie a vysielanie platného DMX512 signálu podľa štandardu. Dôležité bolo splniť všetky podmienky časovania signálu, inak by mohlo dôjsť k nesprávnej interpretácii niektorých častí signálu a vyčítaniu zlých hodnôt, resp. k neschopnosti prečítať signál. Na strane vysielateľa, pri nedodržaní podmienok štandardu by hrozilo, že niektoré alebo všetky zariadenia by neboli schopné ho prečítať, alebo by reagovali nepredvídateľne.

### 5.3.1 Čítanie DMX512

Čítanie signálu DMX-512 je založené na hardvérovej jednotke sériovej komunikácie USART, integrovanej do mikroprocesora ako periférie. Prenos hodnôt samotných kanálov v pakete DMX512 protokolu prebieha na prenosovej rýchlosti 250kBaudov. Ak nastavíme USART jednotku MCU na túto prenosovú rýchlosť a ošetríme detekciu ostatných stavov časovania (BREAK, MAB, ...), dokážeme čítať DMX signál relatívne jednoducho. Po prijatí signálu na RX pin USART jednotky sa vždy spustí prerušenie dokončeného príjmu (RX\_COMPLETE). Ak bol signál neplatný, vieme v stavovom registri jednotky prečítať príznak o chybe. Tento fakt vieme využiť na detekciu stavu MAB (Mark-After-Break), keďže ten tým, že poruší časovanie 250kBaud tento príznak vyvolá. Ak vieme detekovať stav MAB, vieme, že za ním nasleduje START bit už na bežnej rýchlosti 250kBaud, a za ním bajty s dátami jednotlivých kanálov, od 1 po 512, alebo po x, kým nenastane stav BREAK. Ten je jednoducho detekovateľný dlhšou neprítomnosťou žiadneho platného ani neplatného signálu (stav linky je log.0). V obsluhu prerušenia sledujeme v akom stave sa linka momentálne nachádza (BREAK / MAB / DATA), ak sú to dáta, rátame akému kanálu patria (poradové číslo bytu od posledného stavu MAB), či sa tento kanál nachádza v rozsahu, ktorý má daná USART jednotka čítať (podľa hraničnej adresy nastavenej DIP prepínačmi), a ak áno, tak zapíšeme tieto dáta do spoločného poľa DMX dát na príslušnú pozíciu. Pri detekcii kanálu č. 0 (START) sa navyše aktualizuje čas prijatia posledného bajtu, aby bolo možné detekovať (ne)prítomnosť signálu na linke, ak doba od prijatia posledného paketu je dlhšia, ako povoľuje štandard (1 sekunda). Keďže tento kód sa všetok nachádza v prerušení, ktoré sa spúšťa automaticky po prijatí dát z USART jednotky, nie je nutné túto funkciu nijak samostatne spúšťať.



Ako už bolo spomenuté, každá USART jednotka prijíma signál z jedného vstupu mosta, kód pre obsluhu oboch je totožný, len zapisuje prečítané dáta na iné adresy spoločného poľa prijatých dát.

### 5.3.2 Komunikácia cez SPI

Toto pole následne treba odoslať do ATmegy8, ktorá ho prostredníctvom svojej USART jednotky odvysiela vo formáte DMX512. Tento prenos je uskutočnený prostredníctvom rozhrania SPI, ktorý umožňuje vysokorýchlostnú synchronnú komunikáciu medzi mikrokontrolérmi. Tento prenos je nastavený na rovnakú rýchlosť ako protokol DMX512 pri prijímaní všetkých 512 kanálov, z čoho vyplýva, že oneskorenie medzi prijatím DMX signálu ATmegou324 a prijatím dát na odvysielanie ATmegou8 bude maximálne doba trvania jedného DMX paketu. Ako už bolo spomenuté, ATmega324 v tomto (SPI) prenose vystupuje ako Master zariadenie (iniciuje prenos) a ATmega8 ako Slave zariadenie. Nastavenie a obsluha SPI pozostáva z funkcie na inicializáciu rozhrania a funkcie na odvysielanie bajtu na strane vysielача (ATmega324) a prerušenia na ukončenie prenosu na strane prijímača (ATmega8), ktoré prečíta prijatý bajt a zapíše ho do poľa DMX dát na odvysielanie.

### 5.3.3 Vysielanie DMX512

Vysielanie signálu DMX512 je rovnako ako jeho príjem, postavené na USART jednotke mikrokontroléra. Na rozdiel od príjmu je ale algoritmus vysielania postavený na dvoch prerušeníach. Prvým z nich je prerušenie prázdneho dátového registra (UDR\_EMPTY), ktoré sa spustí po odvysielaní štart bitu predchádzajúceho bajtu. V tom čase ešte prebieha vysielanie dátových bitov daného bajtu (slotu), no počas obsluhy prerušenia do údajového registra už vložíme nasledujúci bajt. Druhým prerušením je prerušenie dokončenia vysielania (TX\_COMPLETE), ktoré nastáva po kompletnom odvysielaní každého bajtu. V jeho obsluhu sa ale nachádza kód len pre situáciu, kedy už bolo odvysielaných všetkých 512 bajtov – DMX kanálov. Podľa štandardu, v tejto chvíli má byť odvysielaný príznak BREAK (stav linky log.0 po dobu aspoň 92μs. Praktický spôsob ako to spôsobiť, je znížiť prenosovú rýchlosť USART jednotky na 100kBaudov, povoliť vysielanie paritného bitu a odvyselať jeden prázdny (nulový) bajt. Odvysielanie dátových bitov (hodnoty 0) bude potom



trvať 100 $\mu$ s, čo vyhovuje štandardu (>92 $\mu$ s) a odvysielanie paritného bitu potrvá 16 $\mu$ s. Ten bude nadobúdať hodnotu 1, čiže aj stav linky bude v log.1, čo vytvára príznak MAB, ktorý má nasledovať hneď po BREAK a podľa štandardu má mať dĺžku trvania viac ako 12 $\mu$ s, čo je taktiež splnené. Následne sa prenosová rýchlosť USART jednotky nastaví späť na 250kBaudov a začínajú sa vysielat' jednotlivé sloty.

### 5.3.4 Počítanie strojového času

Počítanie času potrebujeme, aby sme vedeli detekovať prítomnosť/neprítomnosť DMX signálu na vstupoch mosta. Počítanie času je realizované pomocou integrovaného hardvérového časovača nastavenom tak, že vyvoláva prerušenie, ktoré každú milisekundu inkrementuje stav 32-bitovej premennej nastavenej po zapnutí zariadenia na nulu. Z tejto premennej teda vieme vyčítať počet milisekúnd od zapnutia zariadenia, prípadne si túto hodnotu uložiť pri nejakej udalosti, napr. vždy pri prijatí nového paketu.

### 5.3.5 Funkcia Main

V hlavnej funkcii prebieha v oboch mikrokontroléroch najprv nastavenie I/O pinov do správneho módu (vstupný alebo výstupný, zapojenie interných pull-up rezistorov) a následne inicializácia potrebných periférií (USART a SPI jednotky a funkcie časovača). Potom sa spúšťa nekonečná slučka, v ktorej sa kontroluje (ne)prítomnosť vstupného DMX signálu, a podľa toho sa nastavuje výstup na stavové LED diódy. ATmega324 navyše v cykle kontroluje stav vstupného portu, na ktorý je pripojené pole DIP prepínačov určujúce hraničnú adresu medzi vstupmi. Vďaka tomu dokáže most kedykoľvek okamžite zareagovať na zmenu tejto adresy.

## 5.4 ZHODNOTENIE

Vytvorené zariadenie je plne funkčné a pripravené na používanie. Riešenie je navyše ľahko ďalej škálovateľné, drobnými hardvérovými či softvérovými zmenami je možno vytvoriť zariadenia slúžiace ako DMX rozbočovač, opakovač alebo rekordér. Zariadenie obsahuje 2 vstupy a jeden výstup, avšak riešenie je okamžite rozšíriteľné na ľubovoľný počet vstupov za predpokladu použitia iného

mikrokontroléra, obsahujúceho väčšie množstvo USART jednotiek. Tieto mikrokontroléry sa ale vyrábajú iba v SMD verziách. V sérii AVR ATmega ich obsahuje najväčšie množstvo mikrokontrolér ATmega2560 a to v počte 4, v sérii ATxmega môžeme nájsť čipy s až 8 jednotkami. Navrhnuté zariadenie má implementovanú aj voliteľnú funkciu “buffer“, kedy po strate/odpojení vstupného signálu zostáva vysielat’ posledný známy signál v celom rozsahu kanálov. Táto vlastnosť je veľmi užitočná v live nasadení, kedy pri výpadku zdroja signálu nehrozí, že všetky svetlá zhasnú. Namiesto toho zostanú na svojich posledných pozíciách a nastaveniach.

Po energetickej stránke je spotreba zariadenia veľmi malá, pod úrovňou 1W. Príkon jednotlivých komponentov je približne nasledujúci:

Komponent	Prúd [mA]	Výkon [mW]
ATmega8	~16	80
ATmega324	~12	60
MAX485 RX 2x	~1	5
MAX485 TX	~23	115
strata na LM7805 (12V)		cca 450
SPOLU	cca 50mA	cca 710mW

Tab. 5.1: Spotreba jednotlivých komponentov obvodu

Využitie pamätí mikroprocesorov je nasledujúce:

```
AVR Memory Usage
-----
Device: atmega324pa

Program:  1610 bytes (4.9% Full)
(.text + .data + .bootloader)

Data:      537 bytes (26.2% Full)
(.data + .bss + .noinit)
```

```
AVR Memory Usage
-----
Device: atmega8

Program:   578 bytes (7.1% Full)
(.text + .data + .bootloader)

Data:      518 bytes (50.6% Full)
(.data + .bss + .noinit)
```

Obr. 5.3: Využitie pamäte mikrokontroléro

## 6 ZÁVER

Cieľom teoretickej časti bakalárskej práce bolo zanalyzovať súčasné technológie používané v oblasti osvetľovania. Jednotlivé kapitoly som sa preto rozhodol venovať trom hlavným oblastiam týchto technológií.

V úvode som opísal, čo to ovládanie svetiel vlastne znamená a aký má zmysel. Okrem toho sme sa pozreli na to aké typy svetelných zariadení existujú a ako ich vieme rozdeliť.

V druhej kapitole som opísal, čo všetko sa nachádza vnútri svetelných zariadení, ako tieto časti fungujú a aký majú účel. Konkrétne sme sa pozreli “do vnútra” fiktívneho plne vybaveného inteligentného pohyblivého svetla typu rotačná hlava, ktoré je z osvetľovacích zariadení najkomplikovanejšie a najkomplexnejšie. Dôvodom pre výber tohto zariadenia bol ten, že komponenty, ktoré sa v rotačných hlavách nachádzajú môžeme nájsť aj v ostatných typoch zariadení, respektíve v ostatných typoch pravdepodobne nenájdeme žiadne zásadne iné komponenty, ktorý by sa nenachádzal v plne vybavenej rotačnej hlave.

V druhej kapitole som prešiel všetky bežne používané protokoly určené na ovládanie svetelnej techniky, s dôrazom na protokol DMX512, ktorý je jadrom súčasného digitálneho osvetľovania a na protokol RDM ktorý je jeho modernou nadstavbou prinášajúcou nové funkcie.

Tretiu kapitolu som venoval spôsobom, akým svetlá môžeme ovládať z pohľadu používateľa/osvetľovača – s akými typmi ovládacích zariadení sa môžeme stretnúť, a aké prístupy a spôsoby k ovládateľnosti svetelného parku tieto zariadenia ponúkajú.

Praktickou časťou práce bolo navrhnuť DMX most spájajúci 2 signály do jednej linky. Táto úloha bola splnená, vytvorené zariadenie je plne funkčné, spĺňajúce štandard DMX512 a pripravené na používanie v praxi. Softvér zariadenia môže tiež slúžiť ako podklad pre iné projekty pracujúce s DMX, nakoľko má plne implementovanú podporu dekódovania a enkódovania DMX512 signálu a komunikácie s inými mikroprocesormi alebo perifériami pomocou rozhrania SPI.

Využitie zostrojeného zariadenia bude v Ateliéri Multimediálnej Tvorby Elektrotechnickej fakulty Žilinskej univerzity, kde bude spájať signál z dvoch osvetľovacích pultov ovládajúcich svetelný park v ateliéri.

Za najväčší prínos práce považujem to, že jej teoretická časť môže dokopy slúžiť ako veľmi dobrý úvodný sprievodca do sveta osvetľovacích technológií pre začiatočníkov, ktorých táto oblasť zaujíma alebo pre ľudí, ktorí sa v nej budú potrebovať zorientovať.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] SAFFLES G. (2017). Washes, Beams, and Spots How to Know the Difference [online] URL: <http://www.worshipfacilities.com/gear/washes-beams-and-spots-how-know-difference>
  - [2] WIKIPEDIA.ORG. Hydrargyrum medium-arc iodide lamp [online] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrargyrum\\_medium-arc\\_iodide\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrargyrum_medium-arc_iodide_lamp)
  - [3] SAYER, R. (2008) Inside a Moving Head – Primer [online] URL: <http://www.onstagelighting.co.uk/intelligent-lighting/inside-moving-head/>
  - [4] ABRISATECHNOLOGIES.COM. What is a Dichroic Filter? [online] URL: <http://abrisatechnologies.com/2014/10/what-is-a-dichroic-filter/>
  - [5] ENACADEMIC.COM. D54 (protocol) [online] URL: <http://enacademic.com/dic.nsf/enwiki/11601265>
  - [6] THRONE, A. (2014). Lighting for Events: What is a Gobo? [online] URL: <http://www.stagingconnections.com/events/lighting-for-events-what-is-a-gobo>
  - [7] NELSON, J. (2005). Rugged Iris Mechanism [online] URL: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/mechanics-and-machinery/240>
  - [8] WIKIPEDIA.ORG. 0-10 V lighting control [online] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/0-10\\_V\\_lighting\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/0-10_V_lighting_control)
  - [9] DMX512.COM. Analog Dimmer Control [online] URL: <http://www.dmx512.com/web/light/analog/anadim.htm>
  - [10] BURKE, N. (2008). A Simple Guide to DMX by Nicky Burke [online] URL: <https://www.mobilebeat.com/a-simple-guide-to-dmx-by-nicky-b/>
  - [11] ESTA ASSOC. (2013) American National Standard E1.11 [dostupné online] URL: [http://tsp.esta.org/tsp/documents/docs/ANSI-ESTA\\_E1-11\\_2008R2013.pdf](http://tsp.esta.org/tsp/documents/docs/ANSI-ESTA_E1-11_2008R2013.pdf)
  - [12] WIKIPEDIA.ORG. RS-485 [online] URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>
  - [13] ESTA ASSOC. (2009) ANSI E1.20 – 2010 [dostupné online] URL: [https://getdlight.com/media/kunena/attachments/42/ANSI\\_E1-20\\_2010.pdf](https://getdlight.com/media/kunena/attachments/42/ANSI_E1-20_2010.pdf)
-

- [14] ARTISCIC LICENCE GRP. (2017) Specification for the Art-Net 4 Ethernet Communication Protocol [dostupné online] URL:  
<https://artisticlicence.com/WebSiteMaster/User%20Guides/art-net.pdf>
  - [15] OPENLIGHTING.ORG. ArtNet [online] URL:  
<https://wiki.openlighting.org/index.php/ArtNet>
  - [16] ESTA ASSOC. (2016) Lightweight streaming protocol for transport of DMX512 using ACN [dostupné online] URL:  
<http://tsp.esta.org/tsp/documents/docs/E1-31-2016.pdf>
  - [17] MA-LIGHTING. (2009). MA Networking [dostupné online] URL:  
[http://www.mklight-sound.si/media/uploads/downloads/file\\_801\\_grandma\\_networking\\_ix\\_01\\_72dpi.pdf](http://www.mklight-sound.si/media/uploads/downloads/file_801_grandma_networking_ix_01_72dpi.pdf)
  - [18] TRIDONIC. (2013) DALI manual [dostupné online] URL:  
[http://www.tridonic.se/it/download/technical/DALI-manual\\_en.pdf](http://www.tridonic.se/it/download/technical/DALI-manual_en.pdf)
  - [19] NICOLAUDIE. (2006) Sunlite Suite 2 User Manual [dostupné online] URL:  
<http://sirs-e.com/wp-content/uploads/2014/06/SUITE2-UserManual.pdf>
  - [20] FREESTYLERSUPPORT.COM. Midi Interface [online] URL:  
[https://www.freestylersupport.com/wiki/external\\_control:midi:midi\\_interface](https://www.freestylersupport.com/wiki/external_control:midi:midi_interface)
  - [21] WIKIPEDIA.ORG. Atmel AVR [online] URL:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Atmel\\_AVR](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmel_AVR)
  - [22] OPENDMX.NET. DMX-512-A [online] URL:  
<https://opendmx.net/index.php/DMX512-A>
  - [23] ARTISTICLICENCEINTEGRATION.COM. sACN [online] URL:  
<https://artisticlicenceintegration.com/technology-brief/technology-resource/sacn-and-art-net/>
  - [24] RDMPROTOCOL.ORG. webstránky
  - [25] ELEMENT14.COM. (2017). DMX Explained; DMX512 and RS-485 Protocol Detail for Lighting Applications [online] URL:  
<https://www.element14.com/community/groups/open-source-hardware/blog/2017/08/24/dmx-explained-dmx512-and-rs-485-protocol-detail-for-lighting-applications>
  - [26] WIKIPEDIA.ORG. Intelligent lighting [online] URL:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent\\_lighting](https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_lighting)
-

## ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som zadanú bakalársku prácu vypracoval samostatne, pod odborným vedením vedúceho bakalárskej práce doc. Ing. Martina Vaculíka, PhD. a používal som len literatúru uvedenú v práci.

Súhlasím so zapožičiavaním bakalárskej práce.

V Žiline dňa 05. júna 2018

---

podpis

## Prílohová časť



# Zoznam príloh

Príloha A: Ukážková tabuľka popisu DMX kanálov svetelného zariadenia .....	i
Príloha B: Schéma zapojenia DMX mostu .....	ii
Príloha C: Návrh plošného spoja DMX mostu .....	iii
Príloha D: Rozpis súčiastok pre DMX most .....	iv
Príloha E: Zdrojový kód firmvéru pre mikrokontrolér ATmega324 DMX mostu .....	iv
Príloha F: Zdrojový kód firmvéru pre mikrokontrolér ATmega8 DMX mostu .....	iv
Príloha G: EAGLE projekt DMX mostu .....	iv



## Príloha A: Ukážková tabuľka popisu DMX kanálov svetelného zariadenia

Zariadenie ADJ Focus Spot TWO, užívateľský manuál, strana 7

dostupné online:

[http://adjmedia.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/manuals/focus\\_spot\\_two.pdf](http://adjmedia.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/manuals/focus_spot_two.pdf)

Focus Spot Two		16 Channel Mode	
Channel	Value	Function	
1	0 - 255	PAN MOVEMENT 0° - 540	
2	0 - 255	TILT MOVEMENT 0° - 230°	
3	0 - 14 15 - 29 30 - 44 45 - 59 60 - 74 75 - 89 90 - 104 105 - 119 120 - 127 128 - 189 190 - 193 194 - 255	COLOR WHITE RED BLUE GREEN YELLOW PINK LIGHT BLUE LIGHT GREEN LIGHT YELLOW CLOCKWISE ROTATION FAST - SLOW STOP COUNTER-CLOCKWISE ROTATION SLOW - FAST	
4	0 - 9 10 - 18 19 - 27 28 - 36 37 - 45 46 - 55 56 - 63 64 - 73 74 - 82 83 - 91 92 - 100 101 - 110 111 - 119 120 - 127 128 - 189 190 - 193 194 - 255	GOBOS OPEN GOBO 1 GOBO 2 GOBO 3 GOBO 4 GOBO 5 GOBO 6 OPEN SHAKE GOBO 1 SHAKE GOBO 2 SHAKE GOBO 3 SHAKE GOBO 4 SHAKE GOBO 5 SHAKE GOBO 6 SHAKE CLOCKWISE ROTATION FAST - SLOW STOP COUNTER-CLOCKWISE ROTATION SLOW - FAST	

ADJ Products, LLC - www.adj.com - Focus Spot Two Instruction Manual Page 12

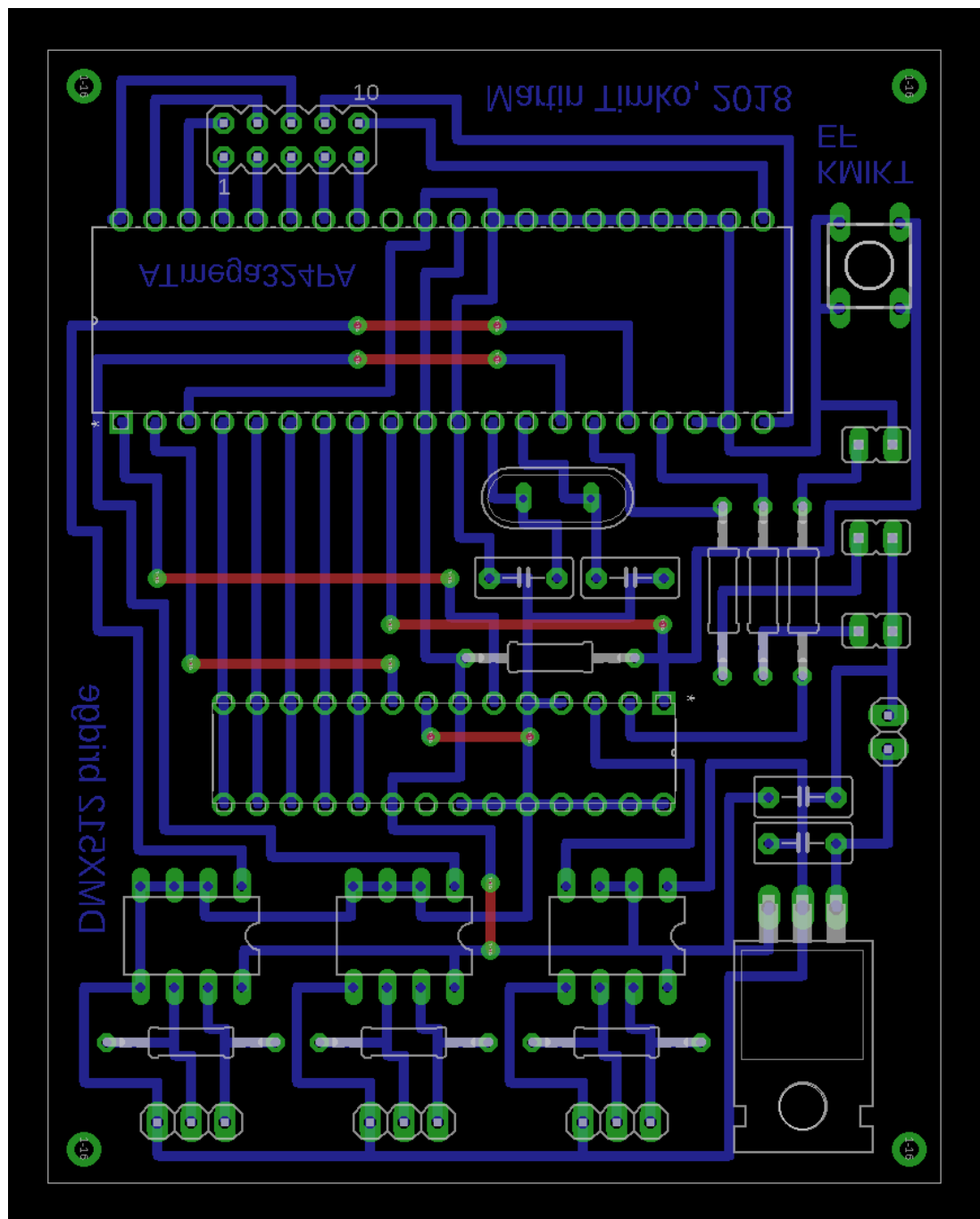
Focus Spot Two		16 Channel Mode	
Channel	Value	Function	
5	0 - 127 128 - 189 190 - 193 194 - 255	GOBO ROTATION INDEXING CLOCKWISE ROTATION FAST - SLOW STOP COUNTER-CLOCKWISE ROTATION SLOW - FAST	
6	0 - 7 8 - 255	PRISM NO EFFECT PRISM EFFECT STROBE/SHUTTER OFF	
7	0 - 7 8 - 15 16 - 131 132 - 139 140 - 181 182 - 189 190 - 231 232 - 239 240 - 247 248 - 255	OPEN STROBING SLOW - FAST OPEN SLOW OPEN - FAST CLOSE OPEN FAST OPEN - SLOW CLOSE OPEN RANDOM STROBE SLOW - FAST OPEN	
8	0 - 255	MASTER DIMMER 0% - 100% OPEN	
9	0 - 7 8 - 15 16 - 131 132 - 139 140 - 181 182 - 189 190 - 231 232 - 239 240 - 247 248 - 255	UV STROBE/SHUTTER OFF OPEN STROBING SLOW - FAST OPEN SLOW OPEN - FAST CLOSE OPEN FAST OPEN - SLOW CLOSE OPEN RANDOM STROBE SLOW - FAST OPEN	
10	0 - 255	UV MASTER DIMMER 0% - 100%	
11	0 - 255	FOCUS 0% - 100%	

ADJ Products, LLC - www.adj.com - Focus Spot Two Instruction Manual Page 13

*Príloha B: Schéma zapojenia DMX mostu*  
(nachádza sa aj na priloženom CD nosiči)

*Príloha C: Návrh plošného spoja DMX mostu*

(nachádza sa aj na priloženom CD nosiči)



*Príloha D: Rozpis súčiastok pre DMX most***DPS:**

U1	ATmega324PA
U2	ATmega8A
IC1-3	MAX485
IC4	LM7805
R1	10k $\Omega$
R2-4	250 $\Omega$
C1	330nF
C2	100nF
C3-4	22pF
Q1	8MHz kryštál
S1	mikrotlačidlo
CN1-7	pinové konektory
DIP1	pinové konektory 2-radové

**Ostatné:**

- 1x krabička
- 2x XLR-M konektor
- 1x XLR-F konektor
- 3x LED dióda
- 7x násadka na pinový konektor
- 4x skrutky na uchytenie DPS

*Príloha E: Zdrojový kód firmvéru pre mikrokontrolér ATmega324 DMX mostu*

(nachádza sa na priloženom CD nosiči)

*Príloha F: Zdrojový kód firmvéru pre mikrokontrolér ATmega8 DMX mostu*

(nachádza sa na priloženom CD nosiči)

*Príloha G: EAGLE projekt DMX mostu*

(nachádza sa na priloženom CD nosiči)