



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ŘÍZENÍ SCÉNICKÉHO OSVĚTLENÍ

STAGE LIGHTING CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Pilmajer

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Pavel Pilmajer

ID: 164360

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Řízení scénického osvětlení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte systém pro ovládání scénického osvětlení, který bude umožňovat napojení na stávající standardní systém. Scénické osvětlení je řízeno programem FreeStyler spuštěným v počítači. Pomocí virtuální konzole jsou ovládána scénická svítidla napojená na sběrnici DMX. Úkolem této práce je návrh a realizace konzole s tahovými potenciometry, tlačítky, a signálními kontrolkami, komunikující s programem FreeStyler. Proveďte rešerši dosavadního způsobu řízení a popište ucelený systém ovládající scénické osvětlení. Dále proveďte návrh systému včetně výběru vhodných komponent pro obvodová zapojení a popište způsob komunikace s počítačem. Závěrem celý systém realizujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 2.6.2016

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku řízení v oblasti světelné techniky pro kulturní účely. V díle jsou popsány způsoby současného řízení scénického osvětlení používané v praxi a navržen nový systém ovládání světelné techniky, který kompenzuje nedostatky řízení počítačovým programem. Návrh a realizace systému vychází z řízení počítačovým programem a je optimalizovaná pro program Freestyler 512.

KLÍČOVÁ SLOVA

Scénické osvětlení, externí konzole Freestyler 512, řízení scénického osvětlení, jevištní osvětlení, DMX 512, Art-Net, Freestyler 512, USB

ABSTRACT

This thesis focuses on the field of lighting technology for cultural purposes. The work describes the current methods of stage lighting control used in practice. The next part describes the design of a new system of stage lighting control, which compensates for deficiencies of management through a computer program. System design and realization is based and optimized for management through a computer program Freestyler 512.

KEYWORDS

Stage lighting, external console for Freestyler 512, Stage lighting control, DMX 512, Art-Net, Freestyler 512, USB

PILMAJER, P. *Řízení scénického osvětlení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2016. 67 s., 11 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení scénického osvětlení jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Poděkování:

Děkuji Ing. Vladimíru Levkovi za vedení, věcné připomínky a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD	- 8 -
1 FUNKCE SCÉNICKÉHO OSVĚTLENÍ	- 9 -
2 SYSTÉM ŘÍZENÍ SCÉNICKÉHO OSVĚTLENÍ	- 11 -
2.1 PROTOKOL DMX 512	- 11 -
2.2 PROTOKOL ART-NET	- 15 -
2.3 PROTOKOL RDM	- 16 -
2.4 WIRELESS DMX.....	- 17 -
3 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ SCÉNICKÉHO OSVĚTLENÍ	- 18 -
3.1 ŘÍZENÍ SVĚTELNÝM PULTEM.....	- 18 -
3.2 ŘÍZENÍ POČÍTAČOVÝM PROGRAMEM	- 18 -
4 NÁVRH ŘEŠENÍ	- 19 -
4.1 VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU	- 23 -
4.2 DOPLŇUJÍCÍ INTEGROVANÉ OBVODY	- 24 -
4.3 VSTUPNÍ PERIFERIE	- 24 -
4.4 ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ INFORMACÍ.....	- 24 -
5 KONSTRUKCE KONZOLE	- 26 -
6 ELEKTRONICKÁ ČÁST KONZOLE	- 29 -
6.1 NAPÁJENÍ	- 30 -
6.2 TLAČÍTKA.....	- 31 -
6.3 TAHOVÉ POTENCIOMETRY	- 32 -
6.4 MIKROKONTROLÉR PIC 18F45K50	- 33 -
6.4.1 A/D převodník.....	- 34 -
6.5 SIGNALIZAČNÍ LED DIODA	- 36 -
6.6 ČERVENÉ LED DIODY	- 36 -
6.7 BÍLÉ LED DIODY.....	- 36 -
6.8 RGB PODSVÍCENÍ TLAČÍTEK	- 37 -

7	PROGRAM PRO PIC 18F45K50	- 39 -
7.1	USB KOMUNIKACE	- 40 -
7.2	ZPRACOVÁNÍ DAT Z OVLÁDACÍCH PRVKŮ	- 41 -
7.3	VYSÍLAČ DMX 512.....	- 43 -
7.4	LED PODSVÍCENÍ	- 44 -
7.5	PODSVÍCENÍ SKUPIN TLAČÍTEK	- 45 -
8	PROGRAM PRO ZPROSTŘEDKOVÁNÍ INFORMACI	- 47 -
8.1	HLAVNÍ OKNO PROGRAMU AIΧPLUG	- 47 -
8.2	NASTAVENÍ KOMUNIKACE	- 48 -
9	ZÁVĚR	- 51 -
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	- 53 -
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 55 -

Úvod

Pro zefektivnění zvukového scénického projevu lze využít světelných efektů. Počátky práce se světelnými efekty jsou známy ještě z doby, kdy lidé neznali elektrický proud. Tyto první světelné efekty byly realizovány za pomoci stínění slunečního záření nebo za pomoci hořících předmětů a sloužily k doplnění divadelního představení nebo jiné kulturní události. S příchodem elektrifikace a elektrických zařízení vyrábějících světelné spektrum přichází i určitý způsob řízení světelné techniky za pomoci elektrického signálu. Zatímco na počátku řízení scénického osvětlení elektrickým proudem byly světelné efekty realizovány pouze za pomoci několika statických světel s analogovým řízením stmívacích či spínacích prvků, v dnešní době nad hlavami umělců visí desítky inteligentních světel řízených digitální technikou.

Řízení světelné scény je dnes realizováno pomocí digitální technologie, kterou v naprosté většině případů ovládá člověk v reálném čase. Ovládat můžeme jednotlivé světelné úkony jako například stmívání reflektoru pomocí jediného ovládacího prvku, kterým může být třeba tahový potenciometr. Pro ovládání skupiny úkonů u koncových zařízení v reálném čase jsou využívány předem naprogramované scény. Zásahy do scén osvětlovač provádí za pomoci osvětlovacího pultu nebo pomocí výpočetní techniky, což v poslední době nabývá na popularitě u menších produkcích. Důvodem je téměř nulová pořizovací hodnota v porovnání s profesionálními světelnými pulty. [3]

Náplní bakalářské práce je rozbor problematiky v oblasti řízení scénického osvětlení, přiblížení používaných řídicích protokolů a možné způsoby řízení jevištní scény v současnosti. Součástí práce je i návrh a realizace nového zařízení – řídicí konzole, která lze implementovat do stávajícího systému scénického osvětlení. Zařízení přináší kompromis v řízení scénického osvětlení za pomoci výpočetní techniky z důvodu fyzické realizace řídicí konzole. Tato konzole prostřednictvím vstupních periférií usnadňuje práci osvětlovače v reálném čase. Důležitými parametry navržené konzole jsou nízké výrobní náklady, snadné připojení k výpočetní technice pomocí sběrnice USB, elegantní podsvícení, dostatečné a vhodně rozmístěné vstupní periférie a zabudovaný vysílač sběrnice EAI 485 vysílající data na protokolu DMX 512.

1 Funkce scénického osvětlení

Pod názvem scénické osvětlení se rozumí osvětlení pro různé kulturní akce, jako jsou například divadelní představení, televizní soutěže, umělecké prezentace, koncerty hudebních skupin a nejrůznější festivaly. Hlavním účelem scénického osvětlení je především umocnění atmosféry po stránce vzhledové. [2]

Světelná scénická technika se skládá z řetězce zařízení, který můžeme rozdělit do několika skupin. Skupiny jsou pro větší přehlednost uvedeny na obrázku 1. [2]



Obr. 1 Obecné schéma řetězce zařízení

Mezi řídicí prvky můžeme zařadit světelné pulty nebo ucelené systémy jako například osobní počítač s převodníkem dat pro používaný řídicí protokol. Řídicí prvky umožňují ovládání scénického osvětlení v reálném čase pomocí předem naprogramovaných světelných scén. Slovem scéna je v tomto případě myšleno naprogramování jednoho nebo více úkonů na koncovém zařízení, které se dynamicky mění v reálném čase. V oblasti scénického osvětlení se můžeme setkat i s výrazem chace, který představuje statickou scénu. Jedná se tedy o scénu, která se nemění v čase. Výstupem řídicích prvků je vstup do signálového vedení, které může být digitální nebo analogové. [2]

Signálovým vedením chápeme trasu od řídicích prvků k prvkům výkonovým. V dnešní době se již od užití výkonových prvků mimo zařízení značně ustupuje a signálové vedení se připojuje přímo do koncového zařízení. Pro signálové vedení se v současnosti používá stíněná dvojlinka, stíněný čtyřžilový kabel, vedení kroucenou dvojlinkou, přenos prostřednictvím zařízení Wi-Fi nebo dnes již nepoužívané analogové vedení multipárovým kabelem. Pro stíněné dvojlinky a stíněné čtyřžilové kabely jsou používány konektory XLR a pro kroucenou dvojlinku se používají konektory RJ45. Je třeba respektovat, že vedení bývá i stovky metrů dlouhé. U velkých produkcí se v některých případech využívá kombinovaná forma, kdy je od technického zázemí vedena kroucená dvojlinka, která je na jevišti rozvedena za pomoci speciálního zařízení do několika konektorů XLR. Nejnovější technologie dovolují i přímé připojení koncových zařízení prostřednictvím sítě ethernet nebo bezdrátovým přenosem Wi-Fi.

Výkonové prvky mají za úkol převést informaci zaslou po signálovém vedení na konkrétní požadovaný úkon. Jejich provoz v některých případech může vytvářet pulsní rušení, což je nežádoucím jevem. Mezi výkonové prvky můžeme zařadit výkonové stmívače, motorové měniče a jim podobná zařízení.

Silovým vedením rozumíme cestu od výkonových prvků do koncových zařízení. Pokud je koncovým zařízením klasický reflektor s průmyslovou lampou, jako silové vedení je použit elektrický kabel požadovaného průřezu. Ve většině případů je k několika klasickým reflektorům přiveden jeden vícežilový kabel. Silové vedení pro klasické scénické osvětlení může být v závislosti na elektrickém provedení stmívače zdrojem velkého rušení pro mnohé snímače akustických signálů, je proto velmi důležité jejich umístění co nejdále od nesymetrického signálového vedení.

Koncové zařízení je prvek provádějící požadovanou činnost. V našem případě to většinou bude konkrétní zdroj světla, jako je reflektor s průmyslovou lampou nebo inteligentní otočná hlava, kde je pro zdroj světla použita LED technologie. Může to však být i motor vykonávající mechanickou činnost, infraohřev nebo topné těleso v mlhostroji.

Jak již bylo výše napsáno, v dnešní době se čím dál více u světelné scény ustupuje od řešení, kdy je výkonový prvek mimo koncové zařízení. Příčinou je především používání LED technologie, která masivně vytlačuje z trhu veškeré jiné zdroje světla. Rozvoj této technologie přináší obrovské výhody především díky vysoké účinnosti, čímž razantně snižuje příkon, přináší velkou úsporu prostoru a zvětšuje odolnost světelného zařízení při převozu. Její nevýhodou je nepřírodní studené světlo, proto se pro nasvícení interpretů při profesionálních produkcích používají stále klasické lampy s wolframovým vláknem, avšak doplněné o sofistikovanou optiku. V případě integrace výkonového prvku do koncového zařízení se do koncového zařízení připojí rovnou signálové vedení. Výhodou takového řešení je především odstranění problémů s rušením silového vedení a integrace několika prvků v jeden celek, což se projeví na rozměrech a hmotnosti. [2]

2 Systém řízení scénického osvětlení

Začátky řízení scénického osvětlení byly realizovány pomocí analogových signálů. Pro ovládání jedné funkce musel být veden od ovládacího pultu samostatný vodič. Analogové vedení bylo většinou řízeno napětovou úrovní 0-10 V, což bylo velmi náchylné na rušení a neslo s sebou řadu nevýhod. [2][3]

S nástupem digitalizace vzniklo několik možností řízení scénické techniky, které se používají dodnes. Nejvíce užívaným řídicím protokolem pro jevištní techniku je protokol DMX 512, který je založen na průmyslové sběrnici EIA 485. V dnešní době existují různé modifikace přenosu sběrnice DMX 512, které umožňují užití jiného signálového vedení. Hojně používaný především na velkých produkcích, kde je potřeba používat několik protokolů DMX 512 současně, je protokol Art-Net, který umožňuje zapouzdřit tyto protokoly do internetové sítě TCP/IP. Takto zapouzdřený signál lze přenášet prostřednictvím internetové sítě, čehož se využívá i pro bezdrátové spojení od technického zázemí k jevišti prostřednictvím Wi-Fi. V případě použití bezdrátového spojení musíme brát na vědomí, že v dnešní době jsou pásma Wi-Fi silně zarušená. Pro vyšší spolehlivost produkce je proto vždy lepší spojení realizovat kabelovým vedením uloženém v kabelovém přejezdu. Odpovědí na neustále rostoucí nároky na požadavky komunikace, především na doplnění zpětné komunikace od zařízení k vysílači, byl specifikován komunikační protokol RDM, který popisuje možnost obousměrné komunikace při zachování zpětné kompatibility s protokolem DMX 512 na jedné sběrnici. Trendem dnešní doby je převedení signálu DMX 512 do bezdrátové podoby. Tato technologie je označována jako Wireless DMX. [2] [1] [5] [3] [9]

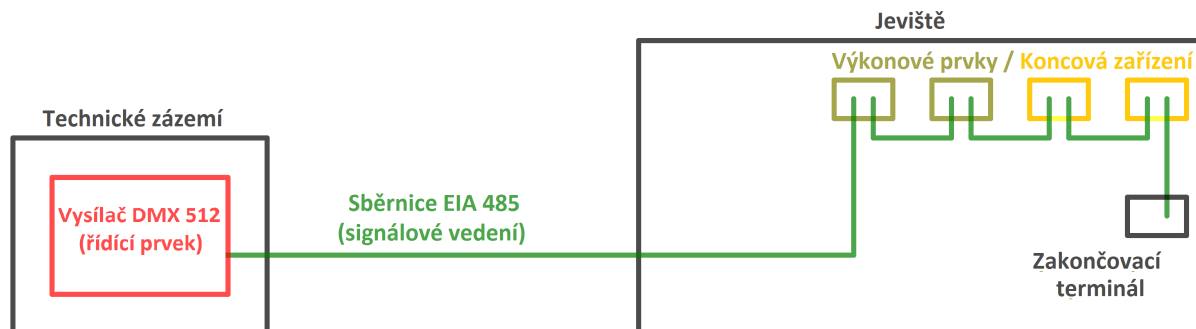
2.1 Protokol DMX 512

Protokol DMX 512 je jednoduchý, avšak velmi efektivní nástroj pro přenos dat po signálovém vedení. Jeho první verze byla navržena institutem USITT v roce 1986 a v roce 1990 byly provedeny změny ve specifikaci protokolu. Jednou ze zásadních změn byla striktní specifikace konektoru na 5-pinový XLR a podrobnější upřesnění funkčnosti protokolu. Tato revize měla za úkol především odstranit nekompatibilitu mezi zařízeními různých výrobců. Později byly provedeny další revize institutem PLASA, který odlišil i oficiální název protokolu přidáním písmena A (DMX 512-A). Další zásadnější revize protokolu byla roku 2008, kdy protokol připouští možnost použít konektor RJ-45 a specifikuje jeho zapojení. V té době již drtivá většina výrobců ignorovala striktní použití 5-pinového konektoru a na svá zařízení instalovala 3-pinové konektory z důvodu nízké ceny konektoru i kabeláže a možnosti použít mikrofonní kabel namísto světelného. V současné době norma stále neumožňuje použít 3-pinový konektor XLR, i přesto většina výrobců především pro touringové (mobilní) zařízení používá buď pro doplnění k 5-pinovému i 3-pinový nebo instaluje pouze 3-pinový konektor. Specifikaci zapojení obou typů konektorů uvádí tabulka 1. [10][7][5]

Tab. 1 Zapojení konektoru XLR 3 a 5 pin

Číslo pinu	Funkce	Konektor	
1	Stínění signálu	XLR 3pin	XLR 5pin
2	Data –		
3	Data +		
4	Data 2 –		
5	Data 2 +		

Protokol má sběrnicovou topologii, ke které jsou připojena jednotlivá naslouchající zařízení společně s vysílačem. Vysílač musí být na sběrnici vždy jeden a musí mít ochranu na výstupu pro případ připojení dalších vysílačů na sběrnici. V praxi je propojení realizováno zapojením počátku sběrnice do vysílacího zařízení, od kterého je signál zpravidla veden do několika zařízení, která jsou navzájem sériově propojena. Uvnitř každého zařízení bývá propojení vstupních konektorů s výstupními a paralelní napojení elektroniky zařízení k nim. Na výstupu posledního zařízení je připojen zakončovací terminál. Topologie sběrnice je znázorněna na obrázku 2. [10][5]



Obr. 2 Schéma topologie sběrnice DMX512

Po sběrnici je protokolem posíláno až 512 datových rámců nepřetržitě za sebou. Datové rámce obsahují osmibitovou hodnotu, která reprezentuje číslo 0-255. Tím je umožněno řídit jednu funkci koncového zařízení po krocích v daném rozmezí. Pro jemnější nastavení je možno použít například dvě osmibitové hodnoty na jednu funkci, umožňuje-li to zařízení. Použitím takového řešení dosáhneme 65536 kroků, čehož je využíváno například pro posun krokových motorů na moderních inteligentních otočných hlavách. [10]

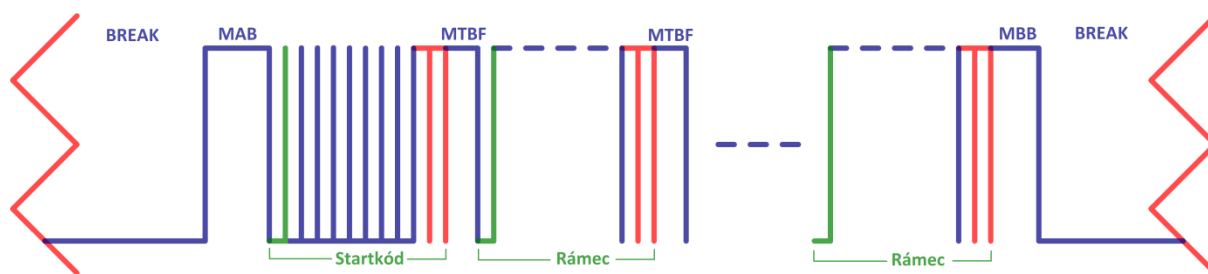
Protokol je založen na průmyslové sběrnici EIA 485, která definuje elektrické specifikace sériové komunikace, můžeme tedy říct, že představuje fyzickou vrstvu protokolu. [10]

Sběrnice EIA 485 (dvouvodičová verze)

- Diferenciální vedení signálu po sběrnici dvěma vodiči (A a B).
- Napět'ové úrovně na signálových vodičích -7 až 12 V.
- Maximální přenosová rychlost je 10 Mb/s.
- Lze připojit až 32 přijímačů a vysílačů na jedné sběrnici.
- Maximální délka vedení sběrnice je 1200 metrů.
- Vstupní impedance přijímače je 12 k Ω .
- Impedanční přizpůsobení linky na konce vedení je 60 Ω .
- Minimální zatěžovací impedance vysílače je 54 Ω .
- Logická 1 je definována napět'ovou úrovní $A - B < -200$ mV.
- Logická 0 je definována napět'ovou úrovní $A - B > +200$ mV. [6]

Fyzická vrstva protokolu DMX 512 má stanovenou přenosovou rychlost na 250 kb/s. Na sběrnici je vždy pouze jeden vysílač, přijímačů může být dle specifikace sběrnice až 32, případně i více, umožňuje-li to výkon vysílače. V případě použití rozdělovače signálu (splitter) se počet přijímacích zařízení násobí počtem výstupů rozdělovače. V případě potřeby použití několika vysílačů na jednu sběrnici je nutné použít speciální zařízení na sloučení signálů, takové zařízení se označuje jako merger. [10] [6]

Samotným principem protokolu DMX 512 je neustálé odesílání paketů, ve kterých je zapouzdřeno až 512 datových úseků (rámců) po 8 bitech. Znárodnění logických stavů DMX paketu vidíme na obrázku 3. Pakety jsou nepřetržitě vysílány po sběrnici a každé zařízení naslouchá jemu určené datové úseky. Koncová zařízení mohou naslouchat stejné datové úseky, je-li to žádoucí. Vzhledem k pevně dané přenosové rychlosti dosáhneme při použití všech 512 datových úseků obnovovací frekvence 44 Hz. [10]



Obr. 3 DMX 512 paket

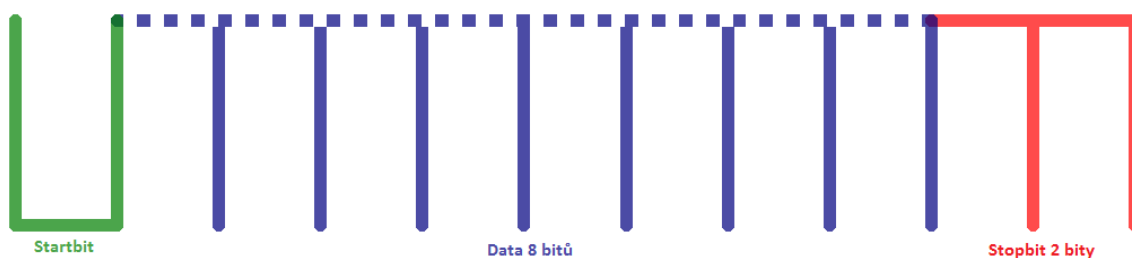
Celý paket je ohraničen úsekem BREAK, během kterého je na sběrnici přítomná logická 0. Následuje úsek se synchronizační mezerou MAB, která je reprezentována logickou 1. Poté se odešle start rámc, který obsahuje všechny datové bity o logické úrovni 0, za ním následují jednotlivé datové rámce, které mohou být oddělené krátkou mezerou MTBF s logickým stavem 1. Za posledním datovým rámcem se může taktéž nacházet mezera MBB

s logickým stavem 1. Po odvysílání rámce začíná opět úsek BREAK a celé vysílání se opakuje. Jednotlivé doporučené časy jsou vidět v tabulce 1. Mezery s logickou úrovní 1 mohou být dlouhé maximálně 1 sekundu, při překročení dojde ke stavu označovanému jako ztráta signálu. Tento stav protokol DMX 512 nedefinuje a nechává o vykonávané činnosti rozhodnout výrobce. Ve většině případů se zařízení vypne nebo setrvá v naposledy nastavené pozici. Někteří výrobci dávají uživateli možnost nastavení, jak se má zařízení v případě ztráty signálu zachovat. Jednotlivá trvání časových úseků protokolu DMX 512 dle revize E1.11 jsou uvedena v tabulce 2. [10]

Tab. 2 Časové schéma paketu pro DMX 512 rev.E1.11 2008

	t_{\min} [uS]	t [uS]	t_{\max} [uS]
BREAK	88 (vysílač 92)	176	-
MAB	8 (vysílač 12)	12	1e06
MTBF	0	0	1e06
MBB	0	-	1e06
Paket	1196 (vysílač 1204)	-	1e06
Rámec	43,12	44	44,88
Bit	3,92	4	4,08

V datovém rámci se nachází startbit o logické úrovni 0, následuje 8 datových bitů a 2 stop bity o logické úrovni 1. Popis datového rámce je graficky znázorněn na obrázku 4. Pro přehlednost je uvedeno i jeho rozložení v tabulce 3. [10]



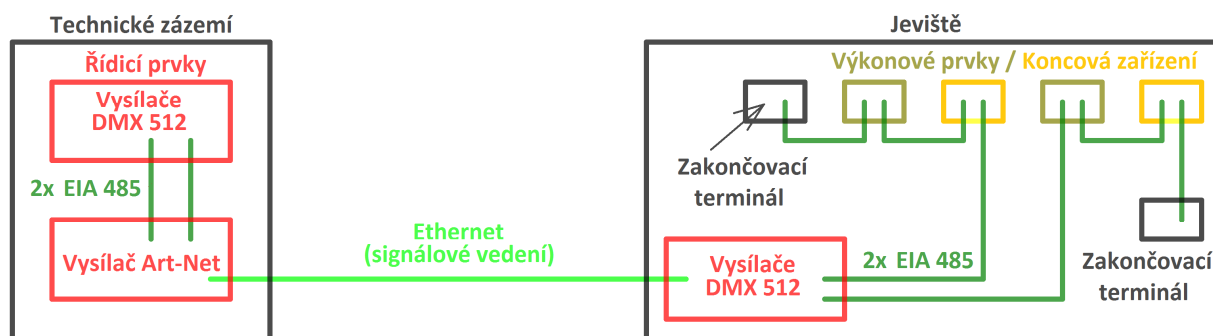
Obr. 4 DMX 512 datový rámec

Tab. 3 Rozložení datového rámce pro DMX 512 rev.E1.11 2008

	Velikost [b]	Logická úroveň
Startbit	1	0
Data	8	-
Stopbit	2	1

2.2 Protokol Art-Net

Art-Net je komunikační protokol, který umožňuje zapouzdřit signál z jednoho nebo z více DMX 512 vysílačů do internetových paketů. Jeho možné praktické využití je znázorněno na obrázku 5. Veškerá komunikace Art-Net je provozována na portu 6454. Jeden DMX tok dat je označován slovem universe. Art-Net prošel šesti revizemi a existují tři verze protokolu, přičemž jsou všechny tři verze schopné navzájem spolupracovat. Přenosová rychlost a počet možných zařízení nebo vysílačů jsou limitovány použitou sítíovou technologií a způsobem jejího adresování. Pro Art-Net 3 specifikaci je maximální možný počet vysílaných DMX 512 toků limitován 15-bitovým číslem. Art-Net dovoluje použití dvou topologií, které mohou pracovat současně, čímž zefektivňují práci především při velkém množství použitých zařízení. Jedná se o metodu všesměrového vysílání. Druhá sofistikovanější metoda využívá pro přenos dat přímé adresování nebo adresování skupin zařízení, což je velice výhodné pro koncové zařízení s možností připojení přímo Art-Net protokolu prostřednictvím kroucené dvojlinky nebo pomocí technologie Wi-Fi. Specifikace protokolu Art-Net zahrnuje spoustu paketů pro správu zařízení v síti, proto budou uvedeny pouze nejdůležitější. ArtPoll paket vysílá každý řídicí kontrolér v síti. Na ArtPoll paket odpovídají všechna připojená zařízení paketem ArtPollReply. Účelem vysílání je shromáždění informací od zařízení a probíhá každé 2,5 až 3 sekundy. Pomocí protokolu Art-Net je možné i zasílat pakety ArtIpProg z řídicího prvku, pomocí kterého je možné programovat koncové zařízení. Nejdůležitějším paketem je ArtDmx, jelikož obsahuje požadovaná řídicí data, tedy data protokolu DMX 512. [8]



Obr. 5 Příklad použití technologie Art-Net

ArtDmx paket

Specifikace protokolu Art-Net umožňuje zasílat pakety ArtDmx nejen z řídicího kontroléru ke koncovému zařízení, ale i mezi jednotlivými zařízeními či ze zařízení do řídicího kontroléru. Zásadním rozdílem ve způsobu zasílání dat oproti DMX 512 je zasílání dat v ArtDmx paketu, pokud dojde ke změně dat nebo po uplynutí 4 sekund. Struktura ArtDmx paketu je pro přehlednost uvedena i v tabulce 4. Začátek paketu tvoří 8 identifikačních bajtů. První sedmici tvoří ASCII znaky "Art-Net" a poslední bit má nulovou hodnotu. Druhým údajem je 16 bitový kód obsahující informaci o druhu zasílaného paketu (0x5000). Následuje 16 bitový signál reprezentující revizi Art-Net protokolu. Další osmibitovou informaci tvoří pořadí paketu pro případ, že by došlo k doručení paketů ve špatném pořadí. V případě zaslání hodnoty 0x00 dojde k deaktivování funkce. [8]

Tab. 4 Struktura ArtDmx paketu

	Velikost [B]	Obsah	Funkce
ID	8	Art-Net0	Art-Net paket
OpCode	2	0x5000	Paket obsahující DMX data
ProtVer	2	14	Verze protokolu Art-Net
Sequence	1		Pořadí paketu
Physical	1		Fyzický vstup DMX 512
Universe	2		Adresa rozhraní DMX 512
Lengh	2	2 - 512	Počet DMX datových rámců
Data	Obsah Lengh		Datové rámce DMX 512

2.3 Protokol RDM

Protokol RDM byl vyvinut na základech protokolu DMX 512-A organizací PLASA. Jeho schválení se uskutečnilo v roce 2006. Základním cílem protokolu je dodržet kompatibilitu se stávajícím protokolem, přičemž implementuje prvky obousměrné komunikace pro konfiguraci a monitorování připojených zařízení za pomoci systémových informačních paketů (SIP). Struktura RDM paketu je popsána v tabulce 5. RDM využívá odlišný start kód, napomáhající rozlišit pakety obou protokolů při použití na jedné sběrnici. Je tak zajištěno, že naslouchající zařízení nepodporující protokol RDM bude jeho zprávy ignorovat. Problém však nastává, pokud použijeme rozdělovače signálu DMX 512, které nepodporují RDM, jelikož se rozdělovače stanou pouze vysílači signálu, čímž zamezí obousměrné komunikaci. Další problém může nastat, pokud výrobce zařízení nedodrží striktně standart DMX 512 v ohledu na kontrolu start kódu. [9]

Tab. 5 Struktura RDM paketu

	Velikost [B]	Funkce
Start Code	1	Startkód RDM protokolu
Sub-Start Code	1	Druhý startkód definující strukturu paketu
Message Length	1	Délka paketu v bajtech včetně startkódu, nezahrnuje však kontrolní součet
Destination UID	6	Cílová adresa zařízení
Source UID	6	Zdrojová adresa zařízení
Transaction Number (TN)	1	Slouží pro kontrolu doručení
Port ID / Response Type	1	Odlišení typu zprávy
Message Count	1	Odlišení části zprávy
Sub-Device	2	Zasílání zpráv pouze konkrétnímu modulu zahrnutého v koncovém zařízení
Message Data Block (MDB)	0 - 231	Obsah zprávy
Checksum	2	Kontrolní součet

2.4 Wireless DMX

Rozmach bezdrátové technologie neminul ani oblast jevištní techniky, kde je ovšem nevýhodou nutnost používat bezlicenční frekvenční pásma. V dnešní době se pro tyto aplikace používají bohužel již velmi zarušená pásma 2,4 GHz a 5 GHz. Bezdrátový přenos signálu DMX 512 může být uskutečněn několika způsoby. Nejpopulárnějším způsobem je zapouzdření signálu do technologie Art-Net a jeho distribuci prostřednictvím Wi-Fi. Tato metoda je pro nenáročné aplikace často využívána zvláště kvůli nízkým pořizovacím nákladům. Druhou variantou je použití speciálního zařízení, které převede přímo signál DMX 512 na radiové vlny. I přes dnešní snahu hlavně východních výrobců propagovat tuto technologii integrací bezdrátových přijímačů přímo do koncových zařízení se bezdrátový přenos DMX signálu příliš nepoužívá. Důvodem je vysoká cena samotných vysílačů a riziko výpadků signálu. [1]

3 Způsoby řízení scénického osvětlení

Řízení scénického osvětlení může být rozděleno podle používaných řídicích prvků na řízení světelným pultem a řízení počítačovým programem. Další používaný způsob řízení je kombinace světelného pultu a počítačového programu, kdy mohou být rozděleny určité funkce koncových zařízení, které se ovládají odděleně. Výstupy obou sběrnic jsou poté spojeny za pomoci speciálního zařízení do jedné sběrnice. [1]

3.1 Řízení světelným pultem

Použití světelného pultu je nejčastějším způsobem ovládání scénického osvětlení. Spousta výrobců nabízí nejrůznější typy světelných pultů vybavených vysílačem protokolu DMX 512. Výbava a možnosti programování světelných pultů velmi závisí na ceně výrobku, která se pohybuje od jednotek po stovky tisíc korun českých. Pulty v nižší cenové hladině většinou obsahují malé množství ovládacích prvků, umožňují minimální nebo žádné možnosti programování scén, neumožňují změnu funkce u tahových potenciometrů a mají malé množství využívaných kanálů protokolu DMX 512. Profesionální osvětlovací pulty z vyšší cenové hladiny mnohdy přesahují možnosti protokolu DMX 512, a proto mohou mít i více výstupů DMX 512 nebo výstup přímo pro Art-Net protokol. Pulty jsou většinou použity pro ovládání větších kulturních akcí. Velkou výhodou těchto pultů je velké množství ovládacích prvků, možnosti nastavení pultu dle požadavků obsluhy a ukládání velkého množství světelných scén, které se mohou nezávisle na sobě prolínat dle naprogramování. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena sahající ke stotisícovým částkám. [1] [2] [3]

3.2 Řízení počítačovým programem

Určitým cenovým kompromisem pro řízení scénického osvětlení především menších kulturních akcí je použití uceleného systému složeného z osobního počítače s příslušným programem a převodníku na sběrnici EIA485. Použití některého z volně dostupných programů snižuje pořizovací náklady na cenu převodníku a osobního počítače. Hlavní výhodou řízení počítačovým programem jsou nízké pořizovací náklady, další výhodou je možnost uložení velkého množství předem nastavených scén do paměti počítače a jejich naprosto libovolného nastavení. Vše je omezeno pouze pamětí počítače a schopnostmi použitého programu, který však ve většině případů umožňuje uživateli nastavit vše dle jeho představ. Pomineme-li možnost kolapsu operačního systému, je jedinou velkou nevýhodou minimum ovládacích prvků, které tvoří pouze připojené periferie počítače. Standardní periferie počítače můžeme doplnit i jinými prvky, dovoluje-li to používaný program. Řízení počítačem se stává kvůli nízkým pořizovacím nákladům velmi populární obzvláště pro menší a střední hudební produkce. [1] [4]

4 Návrh řešení

Z minulé kapitoly vyplývá, že cenovým kompromisem je použití počítačového programu pro řízení scénického osvětlení. Velkou nevýhodou tohoto způsobu řízení jsou chybějící tahové potenciometry a absence velkého počtu tlačítek. To bylo při vývoji řídicích programů nahrazeno možností připojit periferie jako joystick nebo klávesnice. Externí řízení je další možnost, kterou umožňují některé programy. Externí řízení může být realizováno pomocí dotykové obrazovky tabletu nebo mobilního telefonu. Řešení však umožňuje pouze virtuální prezentaci periférií typu tahový potenciometr, což je pro spoustu uživatelů nepoužitelné. Jinou možností je použití MIDI konzole Behringer BCF 2000, připojené k počítači USB kabelem nebo pomocí MIDI převodníku. Tato varianta sice nabízí fyzické periferie, ale jako nevýhodný se jeví velmi malý počet ovládacích prvků. Neexistuje také možnost nastavit funkce periférií zcela dle představ obsluhy, protože dochází k limitaci uživatele předem připraveným počtem funkcí pro konkrétní periferii (popis externí periferie je použit v programu Freestyler 512).

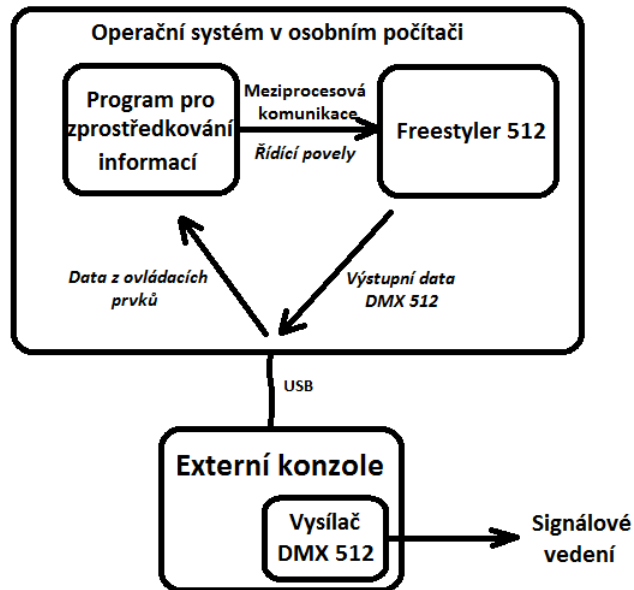
Pro eliminaci nevýhod stávajících systémů řízení pomocí osobního počítače je zapotřebí externí ovládací konzole s následujícími požadavky.

- Připojení do osobního počítače pomocí sběrnice – USB.
- Napájení zařízení ze sběrnice USB.
- Dostatečné množství ovládacích prvků.
- Téměř libovolné přiřazení funkce libovolnému ovládacímu prvku.
- Integrace vysílače DMX 512.
- Osvětlení pultu.
- Malé rozměry a nízká hmotnost.

Návrh externí ovládací konzole je optimalizován pro program Freestyler 512 z důvodu jeho velké popularity, možnosti externího ovládání programu několika způsoby a jeho volné dostupnosti. Program umožňuje naprogramování libovolného počtu statických i dynamických scén, které se mohou prolínat dle přání uživatele. Společně s externí konzolí, která umožní snadné ovládání všech funkcí programu libovolně dle přání uživatele, je tato metoda alternativního svícení bezkonkurenčním řešením, které je minimálně srovnatelné se svícením s použitím profesionálních osvětlovacích pultů.

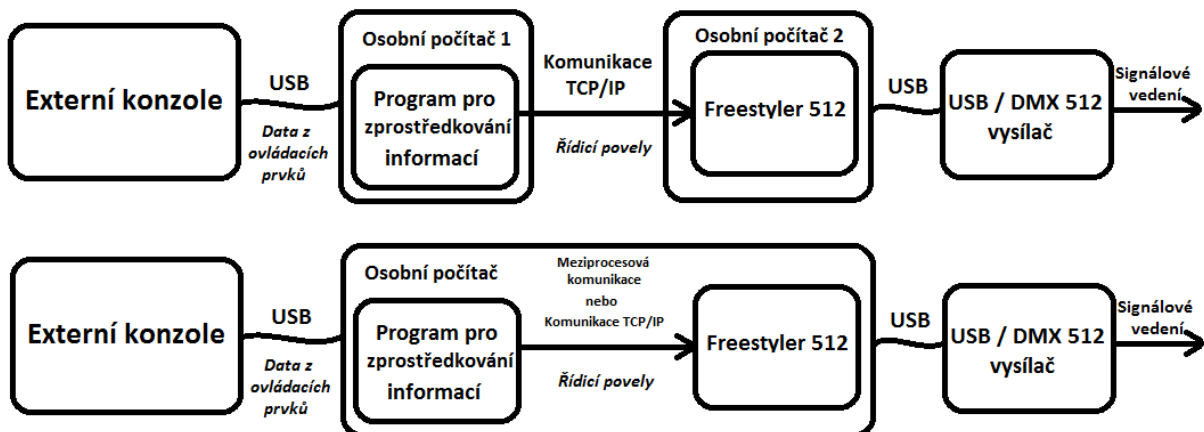
Další výhody návrhu jsou patrné již z několika možných variací blokových schémat vycházejících ze zapojení celého řetězce. Nejideálnější řešení použití je uvedeno na obrázku 6. Data z ovládacích prvků externí konzole jsou prostřednictvím sběrnice USB doručována programu pro zprostředkování informací, kde jsou data upravena dle konfiguračního souboru na povely řídicí program Freestyler 512. Tato část komunikace je pro všechny modifikace použití stejná. Řídicí povely jsou do programu Freestyler 512, běžícím na stejném operačním

systemu, doručeny meziprocesovou komunikací. Výstupní data z programu Freestyler 512 jsou odesílána do konzole, ve které se nachází vysílač protokolu DMX 512, jehož výstupem je signálové vedení. Výhodou tohoto řešení je úspora dalšího zařízení.



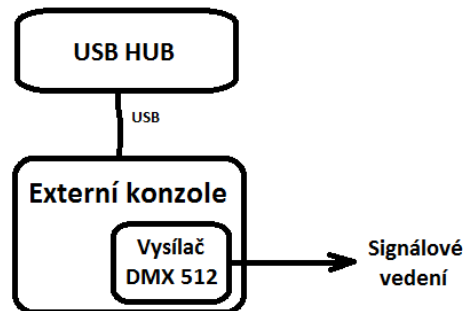
Obr. 6 Blokové schéma zapojení 1

Pokud uživateli nevyhovuje použití protokolu DMX 512 pro signálové vedení, nebo chce využít jiný typ vysílače z jakéhokoli jiného důvodu, blokové schéma může mít dvě varianty, které vysvětluje obrázek 7. Výhodou oproti zapojení dle blokového schématu na obrázku 6 je možnost posílání řídicích povelů po internetové síti do jiného počítače, na kterém je spuštěn program Freestyler 512.



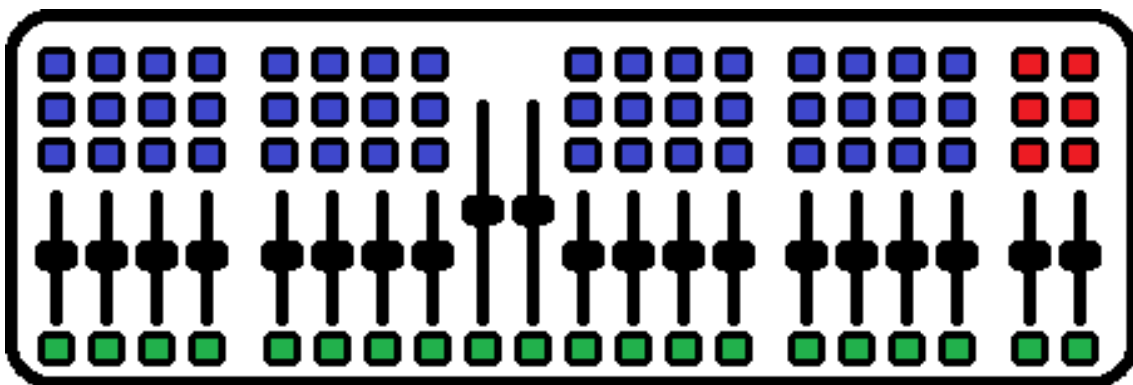
Obr. 7 Blokové schéma zapojení 2

Poslední možností je nouzová varianta pro případ, že se z jakéhokoli důvodu nepodaří uskutečnit propojení konzole s programem Freestyler 512. V tomto případě je konzole využita jako jednoduchý ovládací pult, který vysílá aktuální stavy ovládacích prvků integrovaným vysílačem protokolu DMX 512. Do tohoto stavu je konzole uvedena vždy po připojení napájení ze sběrnice USB a nespuštění programu pro zprostředkování informací. Blokové schéma je znázorněno na obrázku 8.



Obr. 8 Blokové schéma zapojení 3

Pro splnění výše uvedených kritérií je neoptimálnějším řešením návrh zařízení obsahující 20 tahových potenciometrů, které jsou doplněny rychlým tlačítkem. Funkcí rychlého tlačítka je nastavení maximální hodnoty potenciometru po dobu stisku tlačítka. Délky drah jezdců tahových potenciometrů jsou 60 mm, s výjimkou dvou, které jsou předurčeny pro pohyb inteligentních světél. Délky drah jezdců této dvojice jsou 100 mm. Všechny tahové potenciometry (v počtu 20 kusů) jsou umístěny do jedné řady ve spodní části ovládacího panelu. Jako dostatečný počet nastavitelných tlačítek se jeví 48 kusů. Tlačítka jsou umístěna nad řadou tahových potenciometrů. Mimo to je šestice tlačítek přidána pro přednastavené funkce konzole a doplnění šířky prostoru. Velikost konzole je přizpůsobena velikosti a počtu ovládacích prvků. Na obrázku 9 je znázorněno výše popisované rozložení ovládacích prvků na panelu. Nastavitelná tlačítka jsou zvýrazněna modrou barvou. Doplňující šestice tlačítek je zvýrazněna barvou červenou. Rychlá tlačítka nacházející se pod tahovými potenciometry jsou zvýrazněna barvou zelenou.



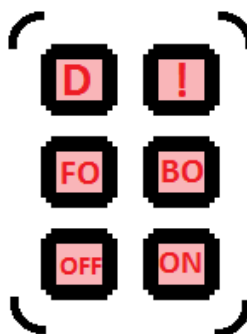
Obr. 9 Rozdělení ovládacích prvků na panelu

Všechny typy ovládacích prvků jsou pro lepší orientaci rozděleny do skupin. Nastavitelná tlačítka jsou rozdělena za pomoci gravírovaných čar do čtveřic. Každé tlačítko ve čtveřici je číslováno za pomoci gravírovaných nápisů, které jsou podsvíceny libovolnou barvou volenou uživatelem. Způsob rozdělení tlačítek je znázorněn na obrázku 10.



Obr. 10 Rozdělení nastavitelných tlačítek

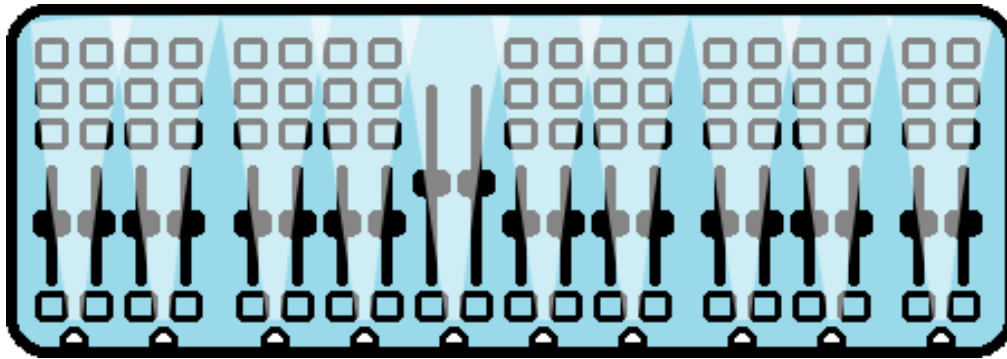
Doplňující šestice tlačítek je oddělena pomoci gravírovaných okrajů. Každé tlačítko v šestici je číslováno za pomoci gravírovaných nápisů, které jsou podsvíceny červenou barvou. Intenzita barvy může být volená uživatelem. Rozložení tlačítek znázorňuje obrázek 11.



Obr. 11 Skupina doplňující tlačítka

Skupiny tahových potenciometrů jsou rozděleny za pomoci vzájemné vzdálenosti. Rychlá tlačítka pod tahovými potenciometry jsou číslována nebo označena pro konkrétní doporučené použití stejným způsobem, jako nastavitelná tlačítka.

Pro snazší orientaci konzole je přidáno bílé celkové osvětlení konzole, které svitem do hrany čirého horního panelu způsobuje podsvícení gravírovaných dělicích čar a nápisů. Jeho intenzita může být volená uživatelem. Způsob bílého podsvícení je znázorněn na obrázku 12.



Obr. 12 Celkové bílé podsvícení konzole

4.1 Výběr mikrokontroléru

Nejdůležitější elektronickou součástí konzole je mikrokontrolér. Pro výběr vhodného typu jsem se rozhodoval mezi výrobci Atmel, Texas Instruments a Microchip. Konečný výběr vhodného typu závisel na výběru mezi dvěma variantami provedení. První variantou je řešení s použitím mikrokontroléru s dostatečným množstvím periférií a schopností obsluhy všech vstupních periférií konzole, které jsou tvořeny 54 tlačítky a 20 tahovými potenciometry. Druhou variantou je použití mikrokontroléru, jehož výkon by postačoval dané aplikaci a musel by být doplněn obvody pro rozšíření vstupně výstupních periférií konzole.

Jako nejvýhodnější se ukázalo použití mikrokontroléru s nižší pořizovací cenou a nedostatečným množstvím periférií pro připojení všech vstupních periférií konzole. Obsluha vstupních periférií konzole je realizována pomocí doplňujících logických obvodů. Důvodem mého rozhodnutí pro tuto variantu byla nižší cena, menší počet datových vodičů a menší konektory na datových spojích mezi deskami s mikrospínači a deskou s mikrokontrolérem. Velikost desky plošných spojů touto volbou nebude ovlivněna.

Základní požadavky na mikrokontrolér:

- Nízká cena.
- Periferie USB.
- Periferie USART.
- Periferie SPI.
- 3 nebo více kanálů AD převodníku.
- 4 nebo více časovačů.
- SMD pouzdro s 40 a více vývody.

Kromě splnění základních požadavků pro výběr mikrokontroléru je zapotřebí dodržet i dostatečný výpočetní výkon pro prováděné operace.

Jako nejvhodnější mikrokontrolér pro danou aplikaci byl vybrán 8 bitový PIC 18F45K50 od firmy Microchip, neboť nejlépe splňoval požadovaná kritéria.

4.2 Doplnující integrované obvody

Z důvodu výběru levného mikrokontroléru, který svým počtem vstupů není schopen obsloužit všechny vstupní periferie konzole, bylo nutné doplnit elektronickou část o logické obvody zajišťující úsporu vstupních portů mikrokontroléru.

Pro dvacet tahových potenciometrů, které jsou připojeny na analogově digitální převodník, je použita trojice analogových multiplexorů 4051. Tyto multiplexory slučují 8 kanálů do jednoho výstupu za pomoci tříadresového binárního kódu.

Signály z tlačítek jsou také přepínány multiplexory 4051. Na každé desce plošných spojů s 24 tlačítky je trojice multiplexorů. Deska s šesticí tlačítek má jeden multiplexor.

Pro lepší přehlednost při práci s konzolí jsou tlačítka rozdělena do sektorů po čtyřech. Každý sektor je rozlišen barevným podsvícením, jehož barva může být volena uživatelem. Pro realizaci je zapotřebí na dvojici desek se 24 tlačítky implementovat 18-ti kanálové LED řadiče WS 2803.

4.3 Vstupní periferie

Pasivní součástky tvoří nedílnou součást elektrického obvodu. Pro tuto aplikaci jsou vstupní periferie tvořeny pasivními součástkami, proto je velice důležité především u tahových potenciometrů zvolit vhodné typy s dlouhou životností. Z důvodu velké náročnosti byly vybrány lineární tahové potenciometry s kovovou konstrukcí od výrobce Alps Electric. Pro realizaci tlačítek byly vybrány SMD mikrosplínače 6x6 mm firmy Schurter.

4.4 Způsob zpracování informací

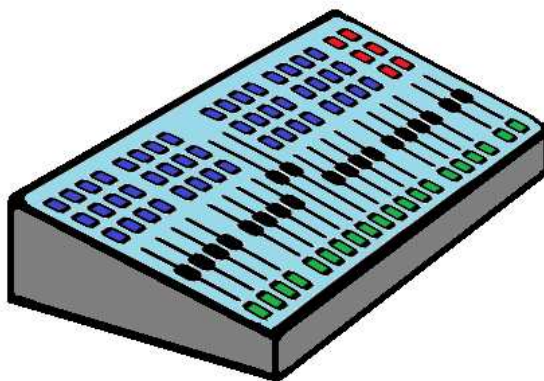
Program Freestyler 512 umožňuje externí řízení prostřednictvím meziprocesové komunikace nebo TCP/IP protokolu. Vhodným řešením jeho ovládání je proto tvorba objektově orientovaného programu, který přijímá data z ovládacích prvků konzole prostřednictvím sběrnice USB a následně data předává v předem stanovené formě programu Freestyler 512. Součástí programu je konfigurační soubor, pomocí kterého jsou přijímaná data převáděna na konkrétní povely pro řízení programu dle přání uživatele. Prostřednictvím programu je řízeno osvětlení konzole a monitorována korektnost komunikace z mikrokontroléru do koncového programu Freestyler 512.

Vysílač protokolu DMX 512 nacházející se v konzoli pracuje v několika režimech. První režim zajišťuje vysílání dat z ovládacích prvků konzole s možností konfigurace řídicích prvků na konkrétní kanál pro případ, že z jakéhokoli důvodu nebude možné spárovat konzoli s programem Freestyler 512. Další možností je vysílání výstupních dat přímo z programu Freestyler 512. Tato možnost, byť je připravena pro realizaci, není dokončena z důvodu nedokončeného rozhraní v programu Freestyler 512. K vysílání dat přímo z programu

Freestyler 512 je proto nutné použít některý z velkého množství vysílačů podporovaných programem Freestyler 512.

5 Konstrukce konzole

Vzhled a tvar konzole byl navržen tak, aby vyhovoval uživateli v maximální možné míře. Z toho důvodu byl zvolen použitý materiál i tvar konstrukce. Horní část konzole má sklon 10°, což zaručuje větší přehlednost. Celkový tvar konzole je znázorněn na obrázku 13. Použití plastového materiálu kombinuje výhodu možnosti snadného a inteligentního podsvícení s výhodou tepelné izolace při dotyku.



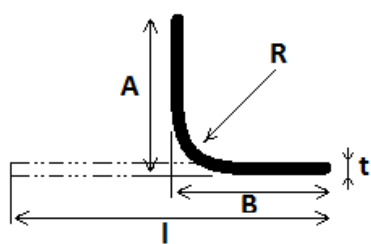
Obr. 13 Tvar konstrukce

Konstrukce konzole je tvořena ze čtyř částí, které jsou vzájemně sešroubovány za pomoci metrických šroubů velikosti M3. Na obrázku 15 je naznačeno složení jednotlivých částí konzole. Boční a spodní části jsou zhotoveny z pozinkovaného plechu tloušťky 1mm. Tyto části jsou na obrázku 15 označeny číslicemi 2, 3, 4. Horní strana, na které se nachází všechny ovládací prvky konzole je vyrobena z čirého polymethylmethakrylátového materiálu tloušťky 5mm. Horní strana konzole je na obrázku 15 označena číslicí 1. Plechové části jsou ohýbány s minimálním poloměrem do pravého úhlu a jejich finální úprava je lakování. Při výpočtu délek u ohýbaných součástí je počítáno s rozvinutou délkou ohýbané součásti dle rovnice 1 znázorněné na obrázku 14. [12] Použití průhledného plastového materiálu pro horní stranu konzole umožňuje podsvítit za pomoci LED diod gravírované nápisy a dělicí čáry pro snadnou orientaci i za úplné tmy. Veškeré práce na horním panelu byly zhotoveny pomocí CNC frézy.

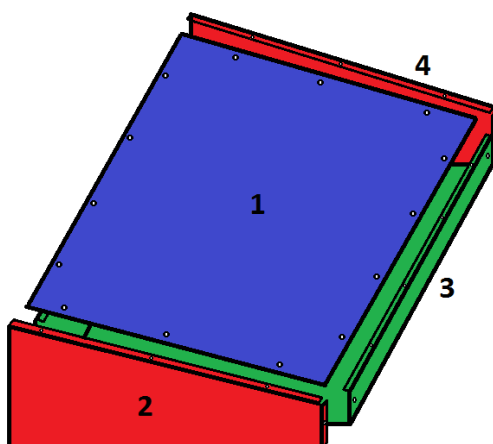
$$l = A + B - z \quad (1)$$

$$z = 0,4292 R * 1,476 t$$

$$l = 1,472 + A + B$$



Obr. 14 Rozvinutá délka ohýbané součásti



Obr. 15 Plán složení jednotlivých konstrukčních částí

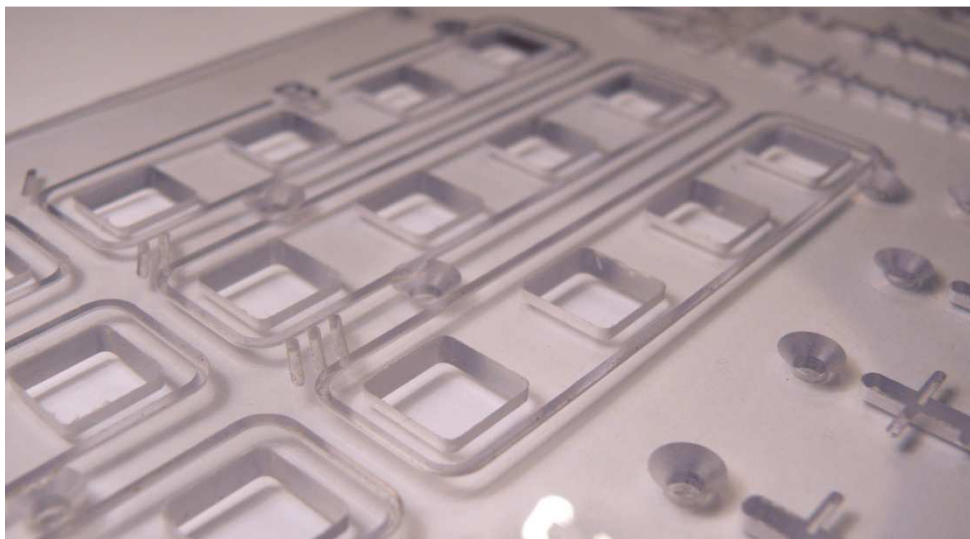
Konstrukce hmatníku tlačítek je řešena vyfrézováním průhledného polymethylmethakrylátového materiálu do tvaru hranatého cylindru. Vrchní čtvercový rozměr šířky cylindru se shoduje s rozměrem otvoru pro tlačítko. Spodní rozměr cylindru je větší, což při těsném kontaktu zabraňuje propadnutí tlačítka horní stranou konzole. Tlačítko ze spodní strany konzole drží mikrospínač umístěný na desce plošných spojů, která je pomocí distančních sloupků připevněna k horní straně konzole. Způsob provedení tlačítek konzole je znázorněn na obrázku 16.



Obr. 16 Podsvícení skupiny tlačítek

Funkce tlačítek, které jsou umístěny nad tahovými potenciometry, je ponechána na volbě uživatele. Tato tlačítka jsou rozdělena do skupin po čtyřech. Každá skupina lze nasvítit libovolnou barvou za pomoci LED diod, které svítí do hrany hmatníku tlačítka. Způsob

nasvícení skupiny tlačítek je znázorněn na obrázku 16. Naznačení rozdělení skupin je provedeno za pomoci gravírovaných čar na horní straně konzole. Výsledná práce gravírovaných čar je na obrázku 17.



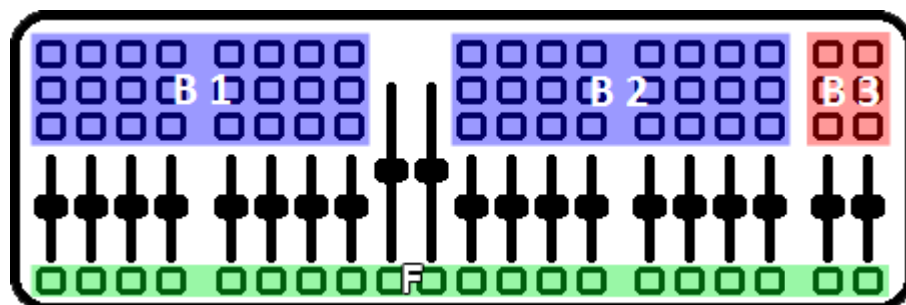
Obr. 17 Gravírované oddělovací čáry na horní straně konzole

Na zadní straně konzole se nachází konektor USB typu B pro připojení zařízení k osobnímu počítači, 3-pinový konektor XLR pro vysílání signálu protokolem DMX 512 a signalizační LED dioda. Zmíněné konektory jsou společně se signalizační diodou osazeny do desky plošných spojů a jsou zpřístupněny uživateli skrze otvory v plechu zadní části konzole.

Výkresy všech konstrukčních částí konzole jsou v příloze bakalářské práce.

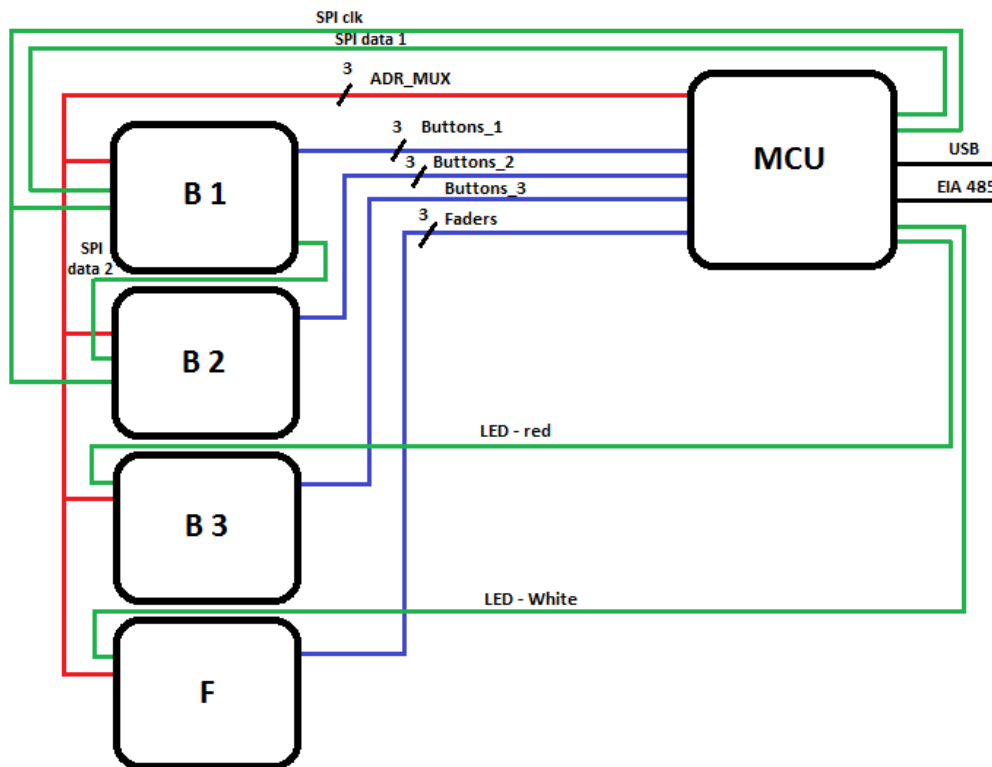
6 Elektronická část konzole

Elektronická část konzole je umístěna na pěti desek plošných spojů (modulů), které jsou propojeny stromovou strukturou. Rozměry desek plošných spojů a jejich počet je ovlivněn konstrukčním návrhem konzole. Na obrázku 18 je znázorněno fyzické rozložení čtveřice desek plošných spojů. Všechny vyznačené moduly jsou připevněné k horní straně konzole za pomoci distančních sloupků. Modrou barvou je vyznačena dvojice totožných modulů, na kterých se nachází nastavitelná tlačítka. Červenou barvou je vyznačen modul obsahující šestici doplňujících tlačítek. Zelenou barvou je vyznačen modul obsahující rychlá tlačítka. K tomuto modulu jsou připojeny všechny tahové potenciometry. Poslední modul obsahující mikrokontrolér není na obrázku vyznačen. Nachází se v pravé zadní části konzole pod moduly s tlačítky. Označení tohoto modulu pro blokové schéma je MCU.



Obr. 18 Fyzické rozložení DPS

Blokové schéma znázorňující propojení logické části konzole je zobrazeno na obrázku 19. Modul plošných spojů s názvem MCU obsahuje mikrokontrolér a je klíčovou komponentou konzole. Na desce se nachází konektory sběrnic USB a EIA 485. Vstupní signály Buttons_1, Buttons_2, Buttons_3 a Faders, označeny modrou barvou na obrázku 18, jsou výstupy analogových multiplexorů. Jejich obsahem je aktuální pozice tlačítek s výjimkou signálu Faders, který obsahuje aktuální pozice tahových potenciometrů. Výstupní signály označené zelenou barvou tvoří řízení osvětlení konzole. Hodinový signál sběrnice SSPI (SPI ckl) je rozveden paralelně do obou modulů s programovatelnými tlačítky. Signál obsahující výstupní data (SPI data 1) je zapojen pouze do prvního z modulů z důvodu sériového propojení datové komunikace za pomoci signálu SPI data 2. Signál LED – red řídí intenzitu červeného osvětlení pro doplňující šestici tlačítek. Signál LED – white řídí intenzitu celkového bílého osvětlení konzole. Všechny signály jsou digitální s výjimkou signálů Faders, které jsou analogové.



Obr. 19 Blokové schéma elektronických komponent

Propojení desek plošných spojů je realizováno za pomoci plochých datových kabelů s konektory PFL. Průřez vodičů kabelů je 0,08 mm². Schémata zapojení i s layoutem desek plošných spojů je v příloze bakalářské práce.

6.1 Napájení

Napájení všech modulů konzole je zajištěno ze sběrnice USB, která dodává stejnosměrné napětí 5 V s maximálním proudovým odběrem 500 mA po identifikaci zařízení dle specifikace USB 2.0. Proud odebírající konzole při rozsvícení veškerého osvětlení několikanásobně překračuje povolenou hodnotu. Jelikož je tento problém většinou výrobců tolerován, není potřeba externí napájení. Řešením v případě striktní tolerance odebíraného proudu hostitelským počítačem je snížení intenzity osvětlení.

Tekoucí proud do modulu s nastavitelnými tlačítky je silně ovlivněn zvolenou intenzitou osvětlení. Při maximální intenzitě osvětlení proud nepřekročí hodnotu 750 mA. Přenos elektrické energie pro moduly s nastavitelnými tlačítky je řešen pomocí čtyř žil plochých kabelů o délce 25 cm. Odpor vodiče je vypočítán rovnicí 2. Měrný odpor pro měděný vodič je $\rho = 0,0178 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

$$R_{ved} = \rho * \frac{l}{S} = 0,0178 * \frac{0,25}{0,08} = 56 \text{ m}\Omega \quad (2)$$

Z rovnice 3 je patrné, že úbytek napájecího napětí na modulu s nastavitelnými tlačítky je 42 mV. Funkce zařízení nebude ovlivněna úbytkem napětí.

$$U_{ved} = R_{ved} * I_{ved} = 56 \text{ m} * 0,75 = 42 \text{ mV} \quad (3)$$

Maximální proudový odběr modulu s tahovými potenciometry je ovlivněn intenzitou celkového podsvícení. Proudový odběr při maximální intenzitě osvětlení nepřekročí hodnotu 220 mA. Analogicky s dosazením do rovnic 2 a 3 je vypočítán úbytek napětí pro délku vodiče 10 cm a dvě žíly plochých kabelů. $U_{ved} = 10 \text{ mV}$.

Rovnicí 4 je vypočítána hodnota jednoho kroku pro osmibitové rozlišení analogově digitálního převodníku pro referenční napětí 5 V. Z rovnice je patrné, že průřez napájecích vodičů pro modul s tahovými potenciometry je dle výpočtů na hranici únosnosti s ohledem na úbytek napájecího napětí při maximální intenzitě osvětlení.

$$U_{krok} = \frac{U_{ref}}{2^8} = \frac{5}{255} = 19,6 \text{ mV} \quad (4)$$

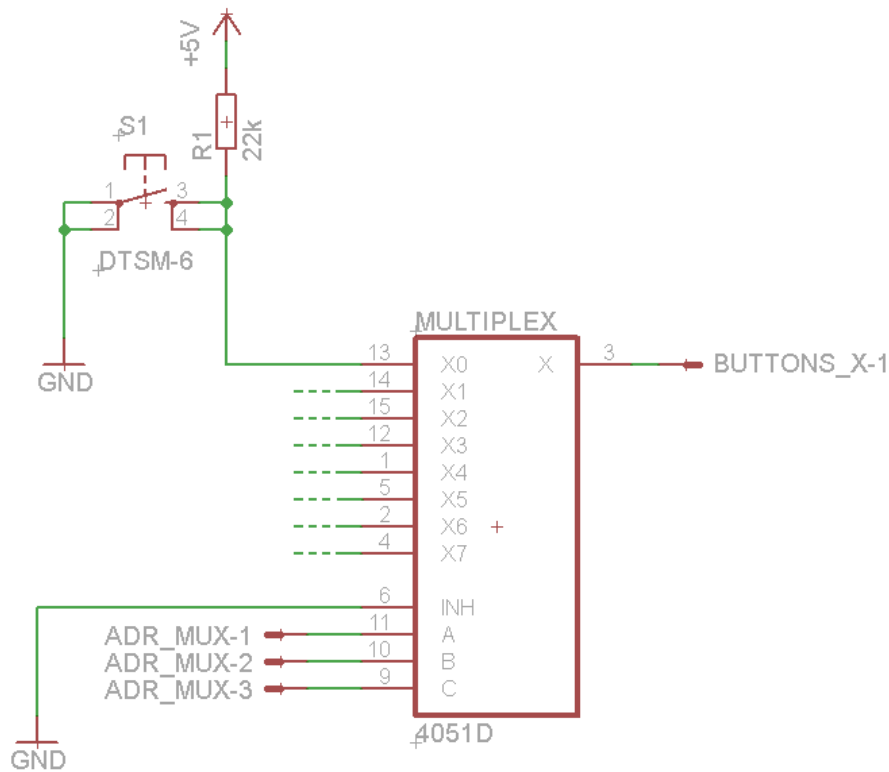
6.2 Tlačítka

Tlačítka konzole jsou řešena SMD mikrospínači s externími pull-up rezistory. Schéma zapojení je znázorněno na obrázku 20. Zapojení vstupů X1 až X7 se od zapojení vstupu X0 analogového multiplexoru neliší, z tohoto důvodu je schéma zapojení zjednodušeno. Přepínání jednotlivých tlačítek je závislé na kombinaci signálu ADR_MUX. Proudový odběr při stisku tlačítka je uveden v rovnici 5.

$$I_{out} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{5}{22 \text{ k}} = 0,23 \text{ mA} \quad (5)$$

Při stisku všech tlačítek nad potenciometry by proud tekoucí všemi rezistory byl 54-násobkem vypočítané hodnoty rovnicí 5. Ztrátový výkon na rezistoru R1 je uveden v rovnici 6.

$$P_{ZTR} = \frac{U_{R1}^2}{R_1} = \frac{5^2}{22 \text{ k}} = 1,14 \text{ mW} \quad (6)$$



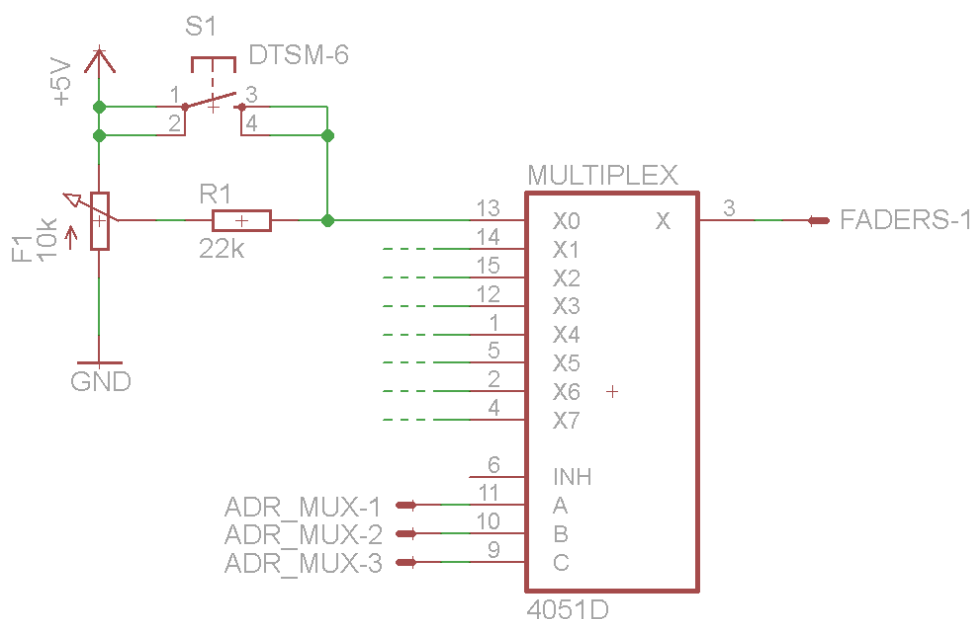
Obr. 20 Schéma zapojení tlačítek

6.3 Tahové potenciometry

Zapojení tahových potenciometrů je znázorněno na obrázku 21. Tahové potenciometry mají lineární charakteristiku s celkovou rezistivitou dráhy 10 kΩ. Rychlá tlačítka jsou tvořena pomocí mikrosplínačů. Zapojení vstupů X1 až X7 se od zapojení vstupu X0 analogového multiplexoru neliší, z tohoto důvodu je schéma zapojení zjednodušeno. Přepínání vstupů multiplexoru je závislé na kombinaci digitálních signálů ADR_MUX. Ztrátový výkon na tahovém potenciometru je uveden v rovnici 7.

$$P_{ZTR} = \frac{U_{F1}^2}{R_{F1}} = \frac{5^2}{10\text{ k}} = 2,5\text{ mW} \quad (7)$$

Celkový ztrátový výkon všech tahových potenciometrů je 50 mW. Stiskem rychlého tlačítka je zvýšen ztrátový výkon na tahovém potenciometru v závislosti na pozici jezdce od 2,5 mW do 3,64 mW. Ztrátový výkon na rezistoru R1 dosahuje hodnoty až 1,14 mW.



Obr. 21 Schéma zapojení tahových potenciometrů

6.4 Mikrokontrolér PIC 18F45K50

PIC 18F45K50 je moderní 8 bitový mikrokontrolér se schopností pracovat s hodinovou frekvencí 48 MHz (12 MIPS). Pro naši aplikaci je použit 16 MHz krystal. Hodinový signál, na kterém pracuje procesor, a od kterého se odvíjí hodinový signál periférií, je trojnásobkem frekvence krystalu. Použitá verze mikrokontroléru F umožňuje napájet procesor nesymetrickým stejnosměrným napětím v rozsahu 2,3 V až 5,5 V. Pro jeho napájení je využito napájení dostupné ze sběrnice USB bez nutnosti jeho stabilizace na nižší napájecí napětí. Při následujících výpočtech je brán ohled na maximální možné zatížení pinu procesoru 25 mA. V tabulce 6 je uvedeno zapojení pinů s výjimkou pinů napájecích.

Tab.: 6 Zapojené piny PIC 18F45K50

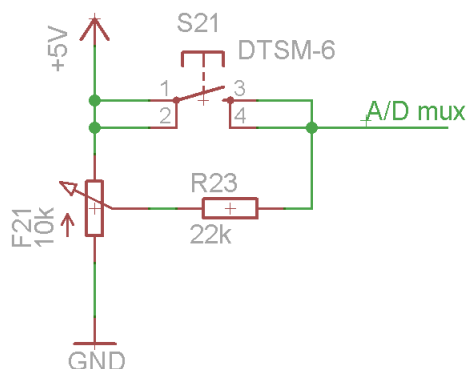
Název pinu	Připojené komponenty	Funkce
OSC1, OSC2	Krystal 16 MHz	Generování hodinového signálu pro
RD3	Signalizační LED	Signalizace funkce zařízení pro obsluhu
RD4	Červená LED	PWM stmívání osvětlení šestice tlačítek
RD5	BC 817c	PWM stmívání deseti bílých LED prostřednictvím
TX	Optočlen 6N137	Vysílač signálu DMX 512
D+, D-	Konektor USB-B	Připojení k sběrnici USB

SDI, CKI	LED řadič WS 2803	Nastavení PWM pro LED řadiče
AN0 – AN2	Obvody 4051	Výstupy tahových potenciometrů skrze analogové
RE0 – RE2	Obvody 4051	Tříbitová adresa pro multiplexory
RB0, RB2-RB7	Obvody 4051	Tlačítka připojená skrze analogové multiplexory

6.4.1 A/D převodník

Součástí PIC 18F45K50 je analogově digitální převodník s rozlišením 10 bitů a možností multiplexování až 28 vstupních pinů. Tato periférie mikrokontroléru je jednou z nejdůležitějších komponent konzole, jelikož vyhodnocuje pozici tahového potenciometru. Pro aplikaci jsou použity 3 kanály a osmibitový výsledek převodu. Referenční hodnotou pro převodník je napájecí napětí. Mezi jezdcí tahových potenciometrů a vstupem převodníku se nachází analogový multiplexor, který zajišťuje přepínání tahových potenciometrů pro jednotlivé vstupy převodníku.

Kvůli realizaci rychlých tlačítek jsou k tahovým potenciometrům připojeny rezistory způsobem znázorněným na obrázku 22. Pokud by byl rezistor R23 na obrázku 22 nahrazen zkratem, při pozici jezdcce v nejnižší poloze by při stisku tlačítka došlo ke zkratu napájecího napětí na zemnicí potenciál.

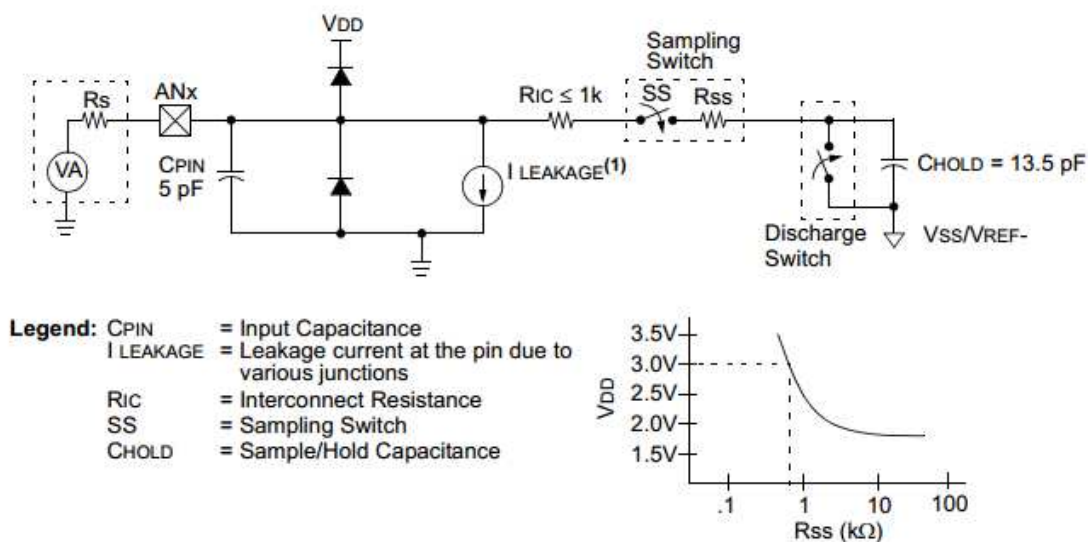


Obr. 22 Zapojení tahového potenciometru

Z analogového modelu převodníku, uvedeného v katalogového listu výrobce, [14] je patrné, že kromě uváděné kapacity kondenzátoru převodníku $C_{\text{HOLD}} = 13,5 \text{ pF}$ se v obvodu vyskytují i parazitní parametry - svodový proud, kapacita pinu, propojovací a vzorkovací odpor. Všechny tyto parametry nepříznivě ovlivňují čas potřebný pro korektní převod. Analogový model je znázorněn na obrázku 23.

Celková doba jednoho převodu se skládá z několika částí. První částí je akviziční doba, při které se nabíjí kondenzátor převodníku C_{HOLD} . Následuje odpojení vstupního pinu a vzorkování deseti bitů. Poslední úkon je vybíjení kondenzátoru C_{HOLD} .

Rezistor R23 na obrázku 22 negativně ovlivňuje parametry stejně tak, jako parazitní parametry analogového modelu převodníku na obrázku 23. Dle vzorců uvedených v katalogovém listu výrobce je vypočítána pomocí rovnic 8 a 9 potřebná minimální akviziciční doba ovlivněná přidáním rezistoru R23.



Obr. 23 Analogový model A/D převodníku

$$T_C = -C_{HOLD} * (R_{IC} + R_{SS} + R_S) * \ln(1/2047) \quad (8)$$

$$T_C = -13,5 \text{ p} * (1 \text{ k} + 700 + 22\text{k}) * \ln(1/2047)$$

$$T_C = 2,44 \mu\text{S}$$

$$T_{ACQ} = T_{Amp \text{ setting time}} + T_C \text{ (cap charge)} + T_{temp \text{ coefficient}} \quad (9)$$

$$T_{ACQ} = 5 \mu\text{S} + 2,44\mu\text{S} + (25 * 0,05 \mu\text{S})$$

$$T_{ACQ} = 8,7 \mu\text{S}$$

Dle výpočtů z rovnice 9 by výsledná akviziciční doba neměla přesahovat 10 μS . Pro vyhodnocení dostatečné požadované doby je vypočítána frekvence periferie. Frekvence periferie se odvíjí od frekvence procesoru a je vyjádřena rovnicí 10.

$$f_{ADC} = \frac{f_{clk}}{64} = \frac{48 \text{ MHz}}{64} = 750 \text{ kHz} \quad (10)$$

Obrácená hodnota frekvence je získána z periody hodinového signálu převodníku $T_{ADC} = 1,3 \mu\text{S}$. Dle katalogového listu výrobce lze programově nastavit akviziciční dobu na 20 násobek periody hodinového signálu, čímž je dosaženo nabití kondenzátoru C_{HOLD} v převodníku s dostatečnou časovou rezervou. Výpočet maximální možné akviziciční doby je uveden v rovnici 11.

$$T_{ACK} = 20 * T_{ADC} = 20 * 1,3 \mu\text{S} = 26,6 \mu\text{S} \quad (11)$$

Vzorkování všech bitů převodníku spolu s vybíjením kondenzátoru a odpojením vstupního pinu při zahájení převodu trvá 13 hodinových cyklů. Tyto informace jsou uvedeny v katalogovém listu výrobce. Celkový čas jednoho převodu je vyjádřen rovnicí 12.

$$T_{AD} = T_{ACK} + 13 * T_{ADC} = 26,6 + 13 * 1,3 \mu S = 44 \mu S \quad (12)$$

Celkový počet konverzí analogového signálu se odvíjí od počtu tahových potenciometrů a rychlosti obnovovací frekvence protokolu DMX 512, která je 44 Hz. Rovnicí 13 je ověřeno splnění maximálního času jedné konverze analogového signálu.

$$T_{ADmax} = (n * f_{DMX512})^{-1} = (20 * 44)^{-1} = 1,14 \text{ ms} \quad (13)$$

6.5 Signalizační LED dioda

Signalizační dioda je připojena anodou k pinu RD3 a katodou k rezistoru, jehož druhý konec je na potenciálu země. Signalizační diodou je uživatel informován o aktuální funkci zařízení pomocí frekvence blikání. Při svitu diodou prochází konstantní proud, který je úměrný velikosti předřadného rezistoru. S ohledem na účel je použita 3mm matná THT LED dioda. Rovnice 14 znázorňuje velikost rezistoru pro zvolený proud 3 mA.

$$R_{LED} = \frac{U_{NAP} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 3,1}{3 \text{ mA}} = 633 \Omega \quad (14)$$

$$P_{ZTR} = U_R * I_R = 1,9 * 3 \text{ mA} = 5,7 \text{ mW} \quad (15)$$

6.6 Červené LED diody

Čtveřice červených LED diod je paralelně spojena. Katody diod jsou připojeny k zemnímu potenciálu a anody k předřadnému rezistoru. Předřadný rezistor je připojen k pinu RD4. Účelem diod je podsvítit hmatníky tlačítek, proto jsou vybrány 5mm THT LED diody. Maximální proud protékající každou z diod je 5mA, z důvodu dodržení maximálního proudového odběru výstupního pinu mikrokontroléru. Analogicky dosazením do rovnic 14 a 15 je vypočítána velikost a ztrátový výkon předřadného rezistoru. $R_{LED} = 150 \Omega$, $P_{ZTR} = 60\text{mW}$.

6.7 Bílé LED diody

Pro podsvícení celého horního panelu do hrany je použito deset čirých THT LED diod s velikostí pouzdra 3 mm. Proud tekoucí každou diodou je 20 mA z důvodu vysokého požadavku na světelný tok. Diody jsou propojené paralelně. Výsledný proud tekoucí deseti diodami je 200 mA. Analogicky dosazením do rovnic 14 a 15 je vypočítána velikost a ztrátový výkon předřadného rezistoru $R_{LED} = 9,5 \Omega$, $P_{ZTR} = 380\text{mW}$. Optimální řešení je

použití rezistoru 10 Ω/1 W. Protože by byl několikanásobně překročen proud tekoucí výstupním pinem mikrokontroléru, je zapotřebí spínat LED diody prostřednictvím tranzistoru. Pro danou aplikaci byl vybrán tranzistor BC 817 v pouzdře SOT 23 s maximálním kolektorovým proudem 500 mA. Velikost předřadného odporu pro bázi tranzistoru je vypočítána podle následujících rovnic 16 a 17. Dosazené hodnoty jsou k dispozici v katalogovém listu výrobce. [21]

$$I_{Bmin} = \frac{I_C}{hfe} = \frac{0,2}{110} = 1,82 \text{ mA} \quad (16)$$

Pro uvedení tranzistoru do režimu saturace musí tranzistor pracovat v mírném nadproudu do báze. Pro splnění toho režimu je vypočítán bázevý odpor pro dvojnásobnou hodnotu z rovnice 16.

$$R_B = \frac{U_{NAP} - U_B}{I_B} = \frac{4,2}{3,64 \text{ mA}} = 1,154 \text{ k}\Omega \quad (17)$$

Z výpočtů je patrné, že při volbě bázevého rezistoru 1,2 kΩ je zaručena správná funkčnost spínacího prvku.

6.8 RGB podsvícení tlačítek

Podsvícení skupin tlačítek je realizováno za pomoci dvou kusů LED řadičů WS 2803 a 24 kusů RGB THT LED diod s velikostí pouzdra 5mm. Všechny 48 uživatelem plně nastavitelných tlačítek je umístěno na dvou totožných deskách plošných spojů. Na desce je umístěn jeden LED řadič, do kterého je připojeno 12 kusů RGB LED diod. Každou skupinu osvětlují dvě paralelně zapojené LED diody, jejichž trojice katod je připojena na výstupy LED řadiče. Anody LED diod jsou připojené přímo na napájecí napětí.

Výrobce použitých LED diod implementoval do jednoho pouzdra tři LED čipy obsahující tři základní barvy pro sestavení celého barevného spektra. Anody čipů jsou uvnitř pouzdra spojené a vyvedené jedním kontaktem. Intenzita jednotlivých barev je regulovatelná trojicí katod konkrétních čipů. Výrobce udává vyzařovací úhel 25° a svítivost maximálně 10 cd při proudu diodou 30 mA. S ohledem na velikost proudu při využití všech diod v zařízení je počítáno s maximálním proudem do každého čipu 10 mA. Rovnicí 18 je vypočítán celkový světelný tok při určeném proudu 10 mA.

$$\begin{aligned} \Phi_{LED} &= \frac{1}{3} * I * 2\pi * \left(1 - \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right) = 10 * 2\pi * \left(1 - \cos\left(\frac{25}{2}\right)\right) \\ &= 0,05 \text{ lm} \end{aligned} \quad (18)$$

Celková velikost světelného toku do jedné skupiny tlačítek může při rozsvícení všech šesti čipů teoreticky dosáhnout až 0,3 lm. Tento světelný tok je pro aplikaci dostačující.

WS 2803 je integrovaný obvod s osmnácti PWM řízenými výstupy, z nichž každý může dodávat konstantní výstupní proud od 5 mA do 30 mA. Výstupní proud je nastavován pro všechny kanály rezistorem R_{IREF} dle katalogového listu výrobce. Výpočet rezistoru pro zvolený výstupní proud $I_{OUT} = 2 \times 10 \text{ mA}$ je uveden v rovnici 19. Každému výstupu je nastavena intenzita v rozsahu osmibitového čísla (0-255) prostřednictvím sériové komunikace s registry obvodu.

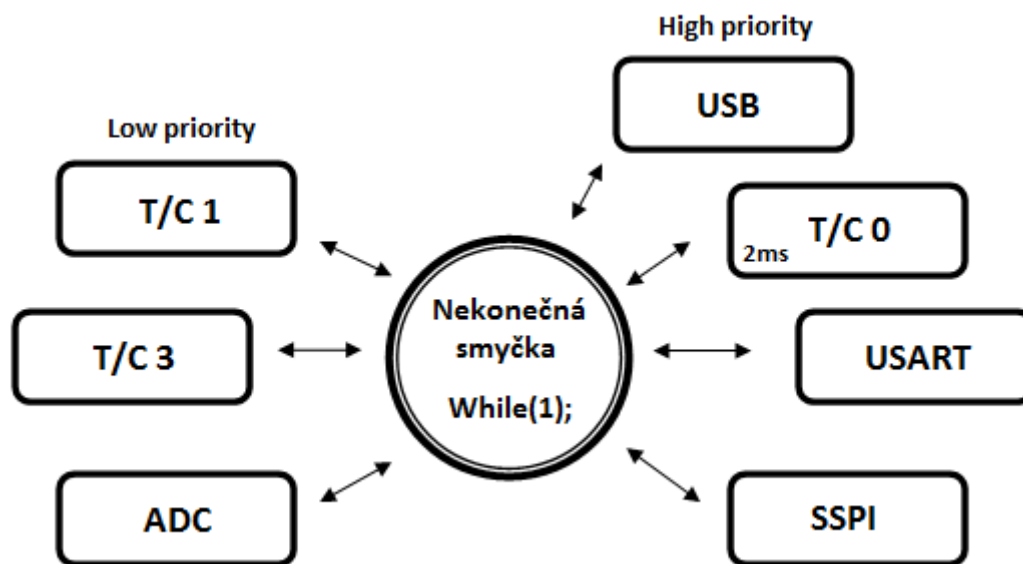
$$R_{IREF} = \frac{V_{REXT}}{I_{OUT}} * 22 = \frac{1,25}{0,02} * 22 = 1375 \Omega \quad (19)$$

7 Program pro PIC 18F45K50

Mikrokontrolér přijímá všechna data z ovládacích prvků konzole, provádí jejich zpracování a následnou distribuci do osobního počítače. Jeho další funkcí je řízení osvětlení konzole a vysílání zpracovaných dat prostřednictvím protokolu DMX 512. K tvorbě programu běžícího v mikrokontroléru bylo použito vývojové prostředí MPLAB IDE v8.92 od firmy Microchip. Program byl napsán v jazyce C++ a pro jeho kompilaci byl použit kompilátor C18. Tvorba programu se odvíjela od elektronického provedení a od požadavků vyplývajících ze zadání práce.

Z důvodu nutnosti použití periferie USB bylo využito volně dostupných knihoven MLA od firmy Microchip, které obsahují projekty pro konkrétní využití periferie. Z důvodu použití knihoven libUSB na straně osobního počítače byl využit předpřipravený projekt pro periferii USB, která pracuje v režimu zařízení a její konfigurace je nastavena pro komunikaci prostřednictvím libUSB na straně osobního počítače.

Základní algoritmus programu mikrokontroléru je znázorněn na obrázku 24. Po inicializaci se program vnoří do nekonečné smyčky, při které čeká na vyvolání některého ze sedmi přerušení. Na pravé straně obrázku 24 se nachází přerušení s vyšší prioritou. Vykonává-li program přerušení s nižší prioritou, může být přerušeno na úkor přerušení s vyšší prioritou. V tabulce 7 jsou uvedeny názvy zkratk jednotlivých přerušení.



Obr. 24 Základní algoritmus programu v mikrokontroléru

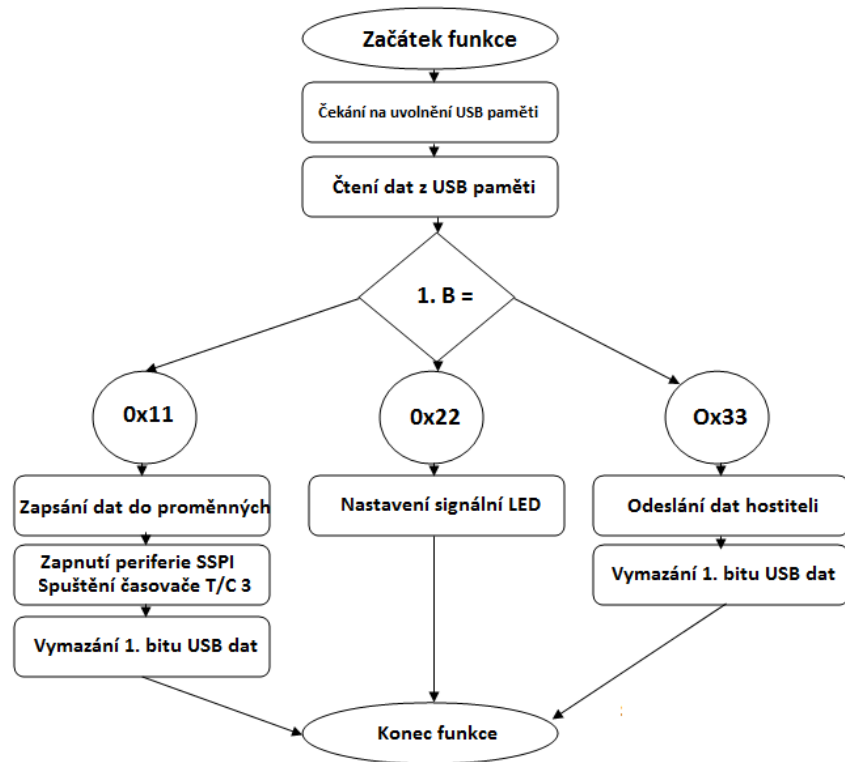
Tab. 7 Názvy zkratk použíých přerušení

Označení přerušení	Typ přerušení
T/C 1	Přetečení periferie čítač/časovač 1
T/C 3	Přetečení periferie čítač/časovač 3
ADC	Konec konverze analogového signálu
USB	Událost periferie USB
T/C 0	Přetečení periferie čítač/časovač 0
USART	Odeslání datového rámce periferií USART
SSPI	Odeslání datového rámce periferií SSPI

7.1 USB komunikace

Součástí mikrokontroléru PIC 18F45K50 je periferie USB, která může pracovat v režimech full speed, low speed (USB 1.1) a high speed (USB 2.0) jako zařízení nebo jako hostitel. Periferie využívá část datové paměti pro uchovávání a práci s přenesenými daty. Pro práci s periferií samotnou je nezbytná detailní znalost sběrnice USB. Tato problematika je řešena knihovnou MLA. Při jejím použití je ovšem nutná alespoň základní znalost přenosu dat po sběrnici USB, neboť podmínka správného fungování závisí na korektním nastavení konfiguračních souborů knihovny.

Kromě základní komunikace, při které jsou odesílány kontrolní zprávy prostřednictvím komunikační roury na koncový bod endpoint 0, se veškerá komunikace mezi mikroprocesorem a počítačem odehrává na koncových bodech endpoint 1. Koncové body endpoint 1 mají předem definované adresy 1 pro výstupní komunikaci a 81 pro komunikaci vstupní. Směr komunikace je udáván z pohledu hostitele (počítače). Komunikační roury spojující koncové body endpoint 1 jsou typu „interrupt“. Vhodnějším řešením by bylo použití komunikační roury typu „isochronous“. Tohle řešení však není realizovatelné z důvodu použití knihoven libUSB na straně hostitele. Velikost zasláného paketu je nastavena na 64 B.



Obr. 25 Algoritmus USB přerušení

Přerušení při zahájení komunikace na podnět hostitele je realizováno knihovní funkcí MLA, která vyvolá přerušení s vyšší prioritou v případě žádosti o komunikaci prostřednictvím komunikační roury 1. Vyvolané přerušení spustí funkci, v rámci které se za pomoci prvních osmi bitů rozhodne o dalších výpočetních operacích. Algoritmus funkce je znázorněn na obrázku 25. Pokud má první doručený datový bajt hodnotu 0x11, je dalším obsahem paketu 38 bajtů obsahující osmibitové hodnoty intenzity osvětlení. Zbylých 25 bajtů paketu není využito a jejich obsah je programem v mikrokontroléru ignorován. Pokud má první doručený datový bajt hodnotu 0x22, jeho dalším obsahem je DMX výstup programu Freestyler 512. Tato varianta je zatím pouze předpřipravena a je programem v mikrokontroléru ignorována. Pokud má první doručený bajt hodnotu 0x33, jedná se o žádost hostitele k zaslání dat obsahující aktuální pozice ovládacích prvků. Zbylých 63 bajtů paketu je programem v mikrokontroléru ignorováno.

7.2 Zpracování dat z ovládacích prvků

Hlavním účelem konzole je zprostředkovávat data získaná z ovládacích prvků do programu Freestyler 512. K získání dat z ovládacích prvků slouží porty mikrokontroléru a analogově digitální převodník. Ke zpracování velkého množství tlačítek a tahových potenciometrů jsou nápomocny analogové multiplexory, které přepínají vstupy celkem 8 signálů do jednoho výstupního signálu. Všechny adresové vstupy analogových multiplexorů jsou paralelně propojeny. Výstupem programu Freestyler 512 je protokol DMX 512, který má

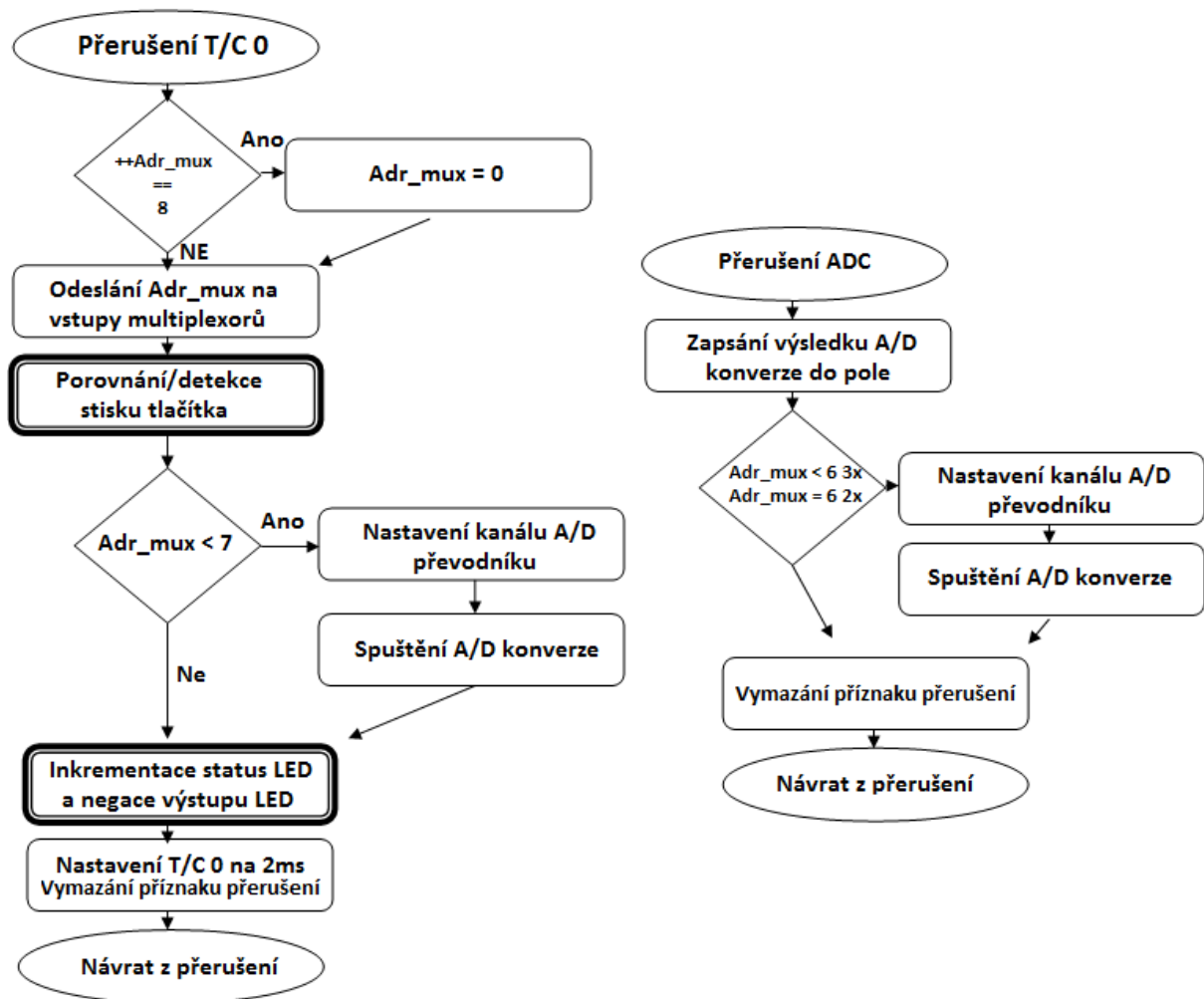
obnovovací frekvenci dat 44 Hz. Pro dodržení minimálního zpoždění signálu a dostatečné obnovovací frekvence je vhodné, aby všechny vstupní porty byly čteny se stejnou nebo větší frekvencí než je obnovovací frekvence protokolu DMX 512. Z důvodu použití multiplexorů je nutné číst po částech a přepínat mezi nimi s osminásobně větší frekvencí obnovení.

Časovač T/C 0 je klíčovou komponentou, jelikož vyvolává každé 2 ms přerušení, které se stará o vyhodnocení dat z osminy všech ovládacích prvků konzole. Výsledkem je vyhodnocení všech vstupních prvků konzole za 16 ms, čímž dosáhneme frekvence obnovení dat z ovládacích prvků 62,5 Hz. Výpočet nastavení času čítače je vypočítán v rovnici 20. Hodinový signál časovače pracuje s předděličkou 4 a vnitřní děličkou 128.

$$TMR_{TC0} = 2^8 - \left(\frac{2 \text{ ms}}{\left(\frac{f_{clk}}{4 * 128} \right)^{-1}} \right) = 256 - \frac{2 \text{ m}}{\left(\frac{48 \text{ M}}{512} \right)^{-1}} = 68 [-] \quad (20)$$

Po vyvolání přerušení časovače T/C 0 je provedena změna adres na vstupu analogových multiplexorů, čímž dojde k přepnutí požadovaného vstupu na všech vstupních perifériích. Následuje porovnání jednotlivých bitů tlačítek s předešlými hodnotami. Pokud program v mikrokontroléru detekuje třikrát stejný stav tlačítka po časových úsecích 16ms (32 ms celkem), je vyhodnocen korektní stisk tlačítka. Tímto způsobem jsou ošetřeny nežádoucí zákmity tlačítka při stisku, přičemž je umožněno detekovat držení tlačítka, které je v některých situacích pro řízení programu Freestyler 512 žádoucí. Pokud se program nenachází v posledním stavu adresového vstupu analogových multiplexorů, následuje nastavení interního multiplexoru pro A/D převodník a spuštění A/D konverze. Dalším krokem je inkrementace proměnné simulující čítač pro blikání signálové LED diody. Velikost inkrementace závisí na režimu, ve kterém se program v mikrokontroléru nachází. Následuje negace výstupu signálové LED diody v případě přetečení proměnné simulující čítač. Závěrem přerušení se provede nastavení registrů T/C 0 na hodnotu 2 ms.

Po dokončení konverze analogově digitálního převodníku se vyvolá přerušení, ve kterém se výsledek převodu zapíše do pole proměnných. Následuje nastavení interního multiplexoru pro analogově digitální převodník a případná další konverze signálu. Přerušení se opakuje dvakrát pro adresy analogových multiplexorů 0 až 5 a jednou pro adresu 6. Při adrese analogových multiplexorů 7 se neprovádí žádná konverze analogového signálu. Algoritmus jednotlivých přerušení je znázorněn na obrázku 26.



Obr. 26 Algoritmus přerušení obsluhující ovládací prvky

7.3 Vysílač DMX 512

Vysílač DMX 512 je tvořen periferiemi USART, T/C 1 a symetrickým vysílačem sběrnice RS485. Periferie USART může dle katalogového listu výrobce pracovat v několika různých módech. Protože periferie slouží jako vysílač signálu DMX 512 na TTL logice, je využit nejzákladnější mód, který periferie umožňuje – osmibitový asynchronní vysílač. Protokol DMX 512 stanovuje přenosovou rychlost 250 kb/s, je proto nutné nastavit v bitech SPBRG, které se nachází v registru periferie, příslušnou rychlost. Výpočet rychlosti je uveden v rovnici 21.

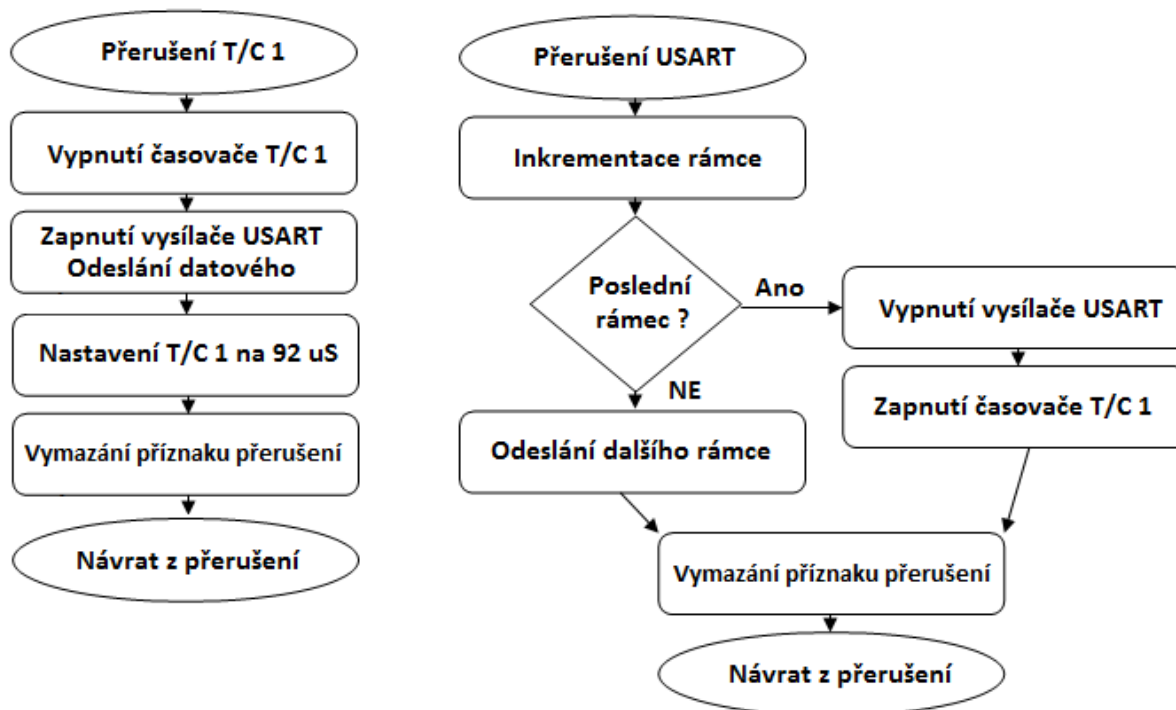
$$SPBRG = \frac{f_{clk}}{\text{Baud rate}} - 1 = \frac{48 M}{250 k} - 1 = 2 [-] \quad (21)$$

Pro dodržení přesného časování protokolu DMX 512 jsou BREAK mezery mezi jednotlivými pakety řešeny za pomoci časovače T/C 1. Před zahájením přenosu dat je spuštěn čítač TC/1 a výstup periferie USART je nastaven na logickou úroveň 0. Po uplynutí 92 μ S je

vyvoláno přerušení, během kterého je vypnut časovač T/C 1, nastavena hodnota čítače T/C 1 na 92 μS a zahájen přenos datového paketu DMX512. Po odeslání osmibitového rámce je vyvoláno přerušení periferie USART a následuje odeslání dalšího datového rámce. Po odeslání všech datových rámců následuje spuštění časovače T/C 1 a nastavení výstupu periferie USART na logickou úroveň 0. Po vyvolání přerušení časovače T/C 1 se celý proces opakuje. Výpočet nastavení komparačního kanálu časovače T/C 1 je uveden v rovnici 22. Časovač T/C 1 má nastaven předděličku hodinového signálu mikrokontroléru 4 a vnitřní děličku hodinového signálu periferie 2.

$$TMR_{TC1} = 2^{16} - \left(\frac{T_{DMXbreak}}{\left(\frac{f_{clk}}{2 * 4}\right)^{-1}} \right) = 65536 - \frac{92 \mu}{\left(\frac{48 M}{8}\right)^{-1}} = 64983[-] \quad (22)$$

Synchronizační mezery mezi jednotlivými rámci MAB jsou vynechány, jelikož specifikace protokolu DMX 512 nevyžaduje jejich užití. Mezery se však mohou objevit v důsledku prodlevy způsobené obsluhou jiného přerušení. Algoritmus vysílače signálu DMX 512 je znázorněn na obrázku 27.



Obr. 27 Algoritmus vysílače DMX 512

7.4 LED podsvícení

Stmívání bílého LED podsvícení je společně s červeným LED podsvícením šestice kontrolních tlačítek řízeno za pomoci PWM periferie mikrokontroléru. Periferie PWM je nastavena na jednoduchý PWM mód pro dva nezávislé kanály. Pro periferii je vyhrazen osmibitový čítač T/C 2, který pracuje na hodinové frekvenci s předděličkou 16. Výstupní

perioda signálu je vypočítána rovnicí 23. Výstupy PWM periferie jsou výrobcem připojeny na výstupy pinů RC1 a RC2. Střída signálu PWM představující intenzitu osvětlení je nastavena prostřednictvím komparačních kanálů čítače časovače T/C 2 v rozsahu osmibitového čísla. K nastavení střídání v rámci programu v mikrokontroléru dojde při inicializaci zařízení, nebo vyslání USB paketu hostitelem, což bylo popsáno v kapitole 7.1.

$$T_{PWM} = \left(\frac{f_{clk}}{16}\right)^{-1} * 2^8 = \left(\frac{48 M}{16}\right)^{-1} * 256 = 8,5 \mu S \quad (23)$$

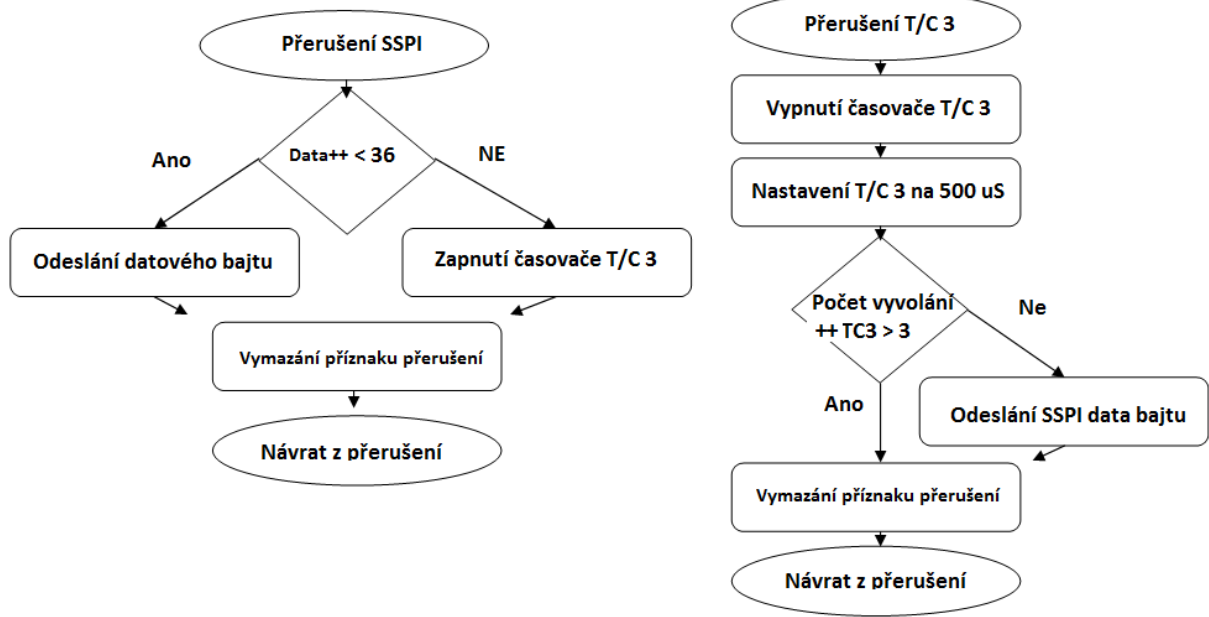
7.5 Podsvícení skupin tlačítek

Podsvícení skupin uživatelem plně programovatelných tlačítek je realizováno za pomoci PWM LED řadiče WS 2803, který je řízen mikrokontrolérem za pomoci sběrnice SSPI. Řadič obsahuje posuvný registr zajišťující možnost sériového propojení více řadičů. Dle katalogového listu výrobce je zařízení schopno přijímat data s hodinovou frekvencí až 25 MHz. Před zahájením přenosu dat je nutné na hodinový signál přivést logickou 0 po dobu 500 μ S. O přesné dodržení časového úseku se stará časovač T/C 3. Výpočet je uveden v rovnici 24. Časovač T/C 3 má nastavenou předděličku 4, která je zahrnuta ve výpočtu. Po odmlce následuje přenos, při kterém jsou jednotlivé bity čteny vždy s nástupnou hranou hodinového signálu.

$$TMR_{TC3} = 2^{16} - \left(\frac{T_{WSbreak}}{\left(\frac{f_{clk}}{4}\right)^{-1}}\right) = 65536 - \frac{500 \mu}{\left(\frac{48 M}{4}\right)^{-1}} = 59536 [-] \quad (24)$$

V projektu jsou použity dva řadiče zapojené do série. Po 500 μ S odmlce je posláno 36 bajtů obsahující intenzitu 36 PWM kanálů. Sériové zapojení spolu s posuvným registrem zaručí, že první polovina odeslaných dat putuje právě do druhého řadiče.

Při přijetí datového paketu ze sběrnice USB obsahující první bajt 0x11 (kapitola 7.1) je zapnuta periferie SSPI a časovač T/C 3. Zapnutí periferie SSPI způsobí nastavení logické 0 na pinu hodinového signálu sběrnice SSPI. Po uplynutí 500 μ S je vyvoláno přerušení T/C 3, ve kterém je vypnut časovač T/C 3 a nastaveny registry časovače pro 500 μ S. Následuje ověření počtu odeslaných paketů a případné zahájení datového přenosu odesláním prvního bajtu do registru periferie SSPI. Jakmile je ukončeno odeslání prvního bajtu, následuje přerušení od periferie SSPI, ve kterém je odesláno zbylých 35 bajtů dat. V případě odeslání všech 36 bajtů se v přerušení SSPI spustí časovač T/C 3 a celý cyklus se třikrát opakuje, aby byl zaručen korektní přenos dat. Pro lepší pochopení jsou algoritmy přerušení graficky znázorněny na obrázku 28.



Obr. 28 Algoritmus pro SSPI komunikaci

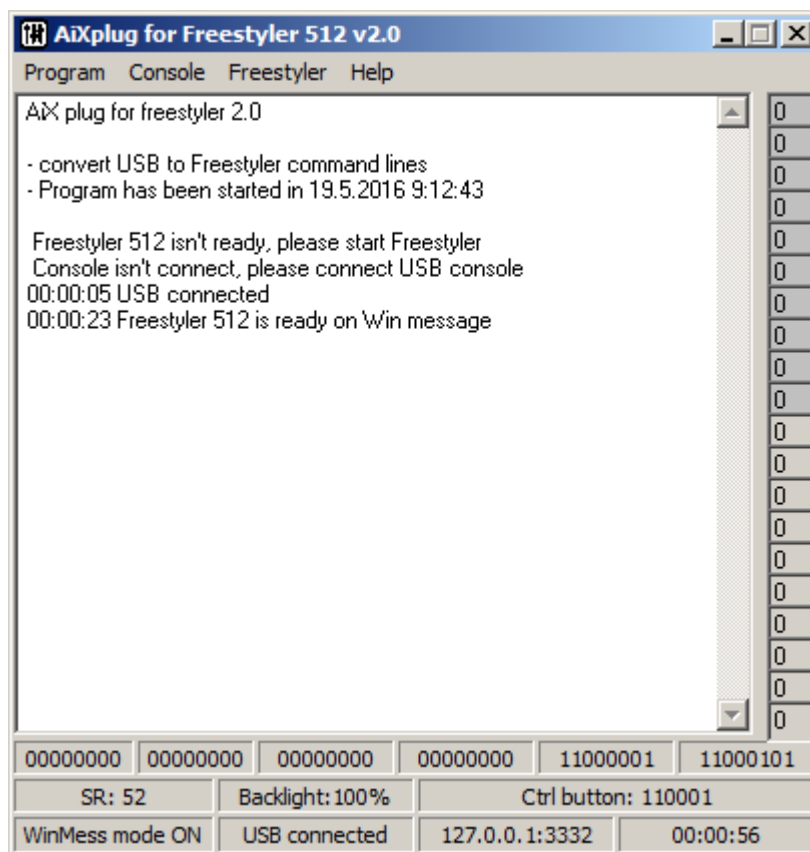
8 Program pro zprostředkování informací

Externí řízení programu Freestyler 512 lze realizovat dvěma způsoby. Nejjednodušší a nejefektivnější způsob je řízení pomocí meziprocesové komunikace v prostředí operačního systému Windows. Složitějším způsobem je využití TCP/IP protokolu. K propojení programu s konzolí bylo nutné vytvořit program, který zpracovává informace přijaté mikrokontrolérem a poskytuje je programu Freestyler 512. Program byl nazván AiXplug.

AiXplug je objektově orientovaný program napsaný v jazyce C++ s použitím vývojového prostředí C++ Builder 6. Součástí programu je kromě volně spustitelného souboru i konfigurační soubor, ve kterém jsou uložena všechna uživatelská nastavení. Při spuštění programu je konfigurační soubor vyhledáván v adresáři, ve kterém je umístěn spustitelný soubor. Pokud konfigurační soubor není nalezen, program automaticky vytvoří nový s výchozím nastavením. Program využívá knihoven libUSB pro přístup k sběrnici USB. Před spuštěním programu AiXplug na operačním systému Windows je proto nutné nainstalovat ovladače zařízení. Program AiXplug komunikuje s programem Freestyler 512 prostřednictvím meziprocesové komunikace nebo pomocí protokolu TCP/IP. Výchozí a doporučená varianta je použití meziprocesové komunikace s podmínkou spuštění programu Freestyler 512 na společném operačním systému s platformou Windows. Program lze manuálním zásahem uživatele přepnout do režimu řízení programu Freestyler 512 prostřednictvím protokolu TCP/IP, což umožní vzdálené řízení po internetové síti.

8.1 Hlavní okno programu AiXplug

Hlavní okno programu je základním a jediným informačním prvkem. Veškeré informace o aktuálním dění programu jsou vypisovány do textové plochy programu. Přítomnost konzole je po připojení automaticky rozpoznána a uživatel je programem informován v textovém poli. Předpokladem k úspěšnému rozpoznání zařízení je nutnost instalace ovladačů. Po rozpoznání zařízení je započato čtení dat z konzole s frekvencí 45 Hz. V pravé části okna na obrázku 15 se nachází dvacet buněk, ve kterých jsou osmibitové hodnoty v dekadickém tvaru. Ty představují aktuální pozice tahových potenciometrů. Ve spodní části okna se nachází plocha, která informuje o aktuálním stavu všech tlačítek na konzoli, obnovovací frekvenci z konzole a intenzitu celkového bílého podsvícení. Poslední řádek plochy informuje o propojení programu s konzolí a programem Freestyler 512, informuje o nastavené IP adrese a portu pro připojení k programu Freestyler 512 prostřednictvím protokolu TCP/IP a zobrazuje celkový čas spuštění programu. Hlavní okno je znázorněno na obrázku 29.



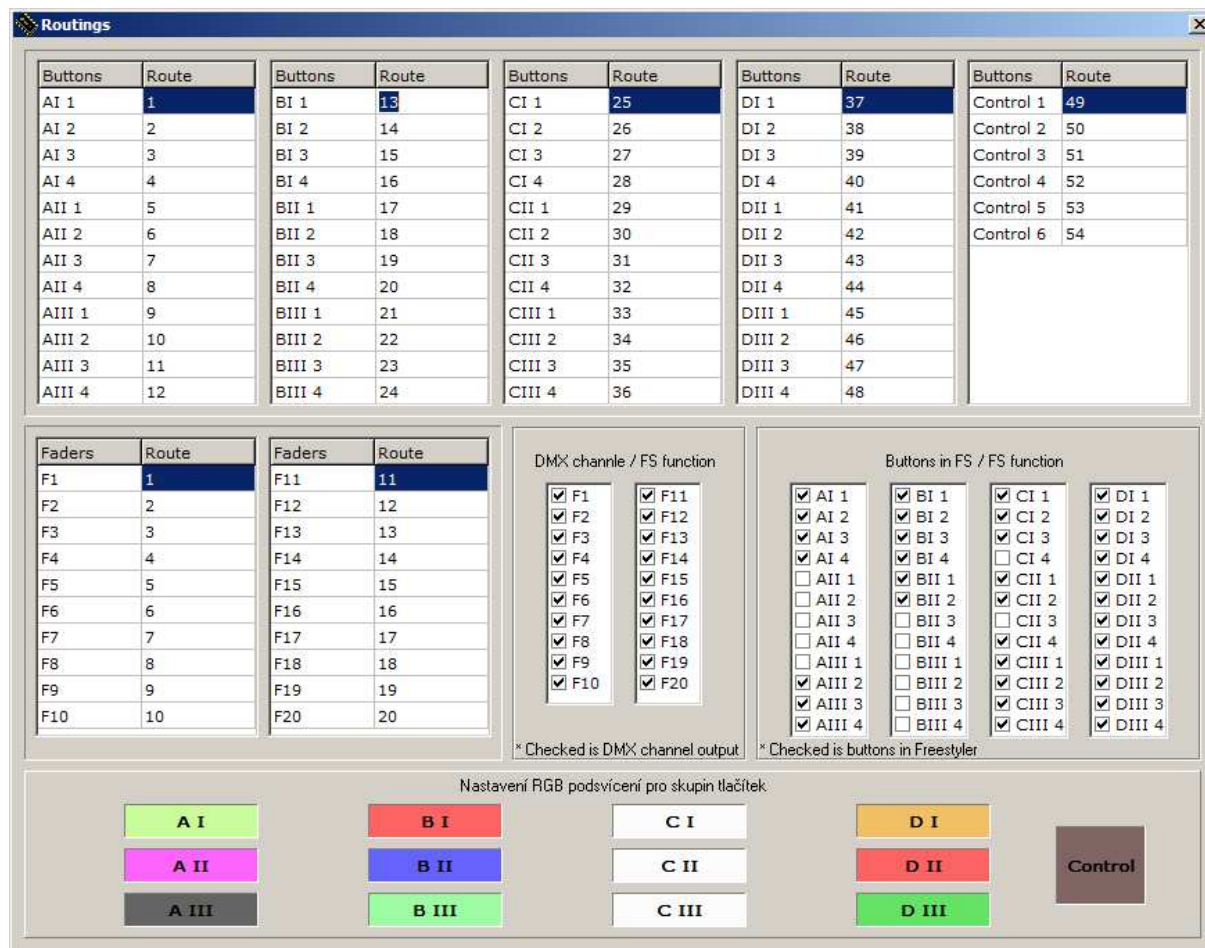
Obr. 29 Hlavní okno programu AiXplug

Hlavní menu programu, nacházející se v horní části okna, obsahuje čtveřici vysouvacích karet. Pod první kartou Program lze nalézt položku Routing otvírající okno pro nastavení spárování s programem Freestyler 512 a položku pro ukončení programu. V další kartě Console se nachází položka LED backlight, která otvírá dialogové okno pro nastavení intenzity bílého podsvícení konzole. Pod kartou Freestyler se nachází trojice položek. První položka Connect TCP/IP umožňuje přepnutí do externího řízení prostřednictvím protokolu TCP/IP. Položka Disconnect odpojuje externí řízení prostřednictvím protokolu TCP/IP a přepíná externí řízení do režimu meziprocesové komunikace. Poslední položka Test – blackout odesílá programu Freestyler 512 příkaz Blackout pro případné otestování komunikace. V poslední kartě Help se nachází položka About..., která zobrazuje dialogové okno s informacemi o programu.

8.2 Nastavení komunikace

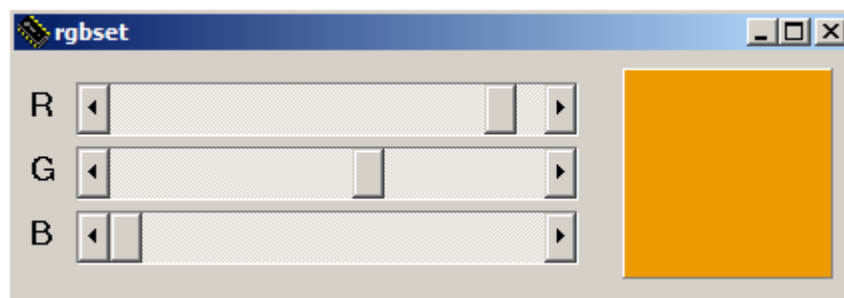
Základní nastavení komunikace se nachází v okně Routings, nacházející se v hlavním menu v kartě Program. Vzhled okna je patrný na obrázku 30. V horní části okna je nastavení všech tlačítek konzole. Ve sloupci Buttons je popis tlačítka odpovídající vygravírovanému popisu na konkrétním tlačítku konzole s výjimkou šestice kontrolních tlačítek na pravé straně. Veškeré nastavení spárování konzole s programem Freestyler 512 se uskutečňuje pomocí tabulek a checkboxů v okně Routings. Tlačítka mohou být spárována s konkrétním tlačítkem

programu, nebo mohou ovládat konkrétní funkce programu. Tahové potenciometry mohou představovat konkrétní DMX 512 rámec, nebo mohou ovládat konkrétní funkce programu. Čísla funkcí pro spárování programu Freestyler 512 jsou uvedena v dokumentaci programu, která je dostupná v kořenové složce programu Freestyler 512 po jeho nainstalování.



Obr. 30 Okno routing programu AiXplug

Ve spodní části okna Routings se nachází nastavení podsvícení jednotlivých skupin tlačítek. Rozmístění skupin a jejich popis odpovídá fyzickému rozmístění a popisu na konzoli. Kliknutím na libovolnou skupinu je otevřeno okno, ve kterém lze za pomoci táhel nastavit konkrétní barevný odstín pro skupinu tlačítek. Po zavření okna dojde k okamžité změně barvy. Skupina Control obsahuje jen nastavení intenzity červené barvy. Okno s nastavením barev je znázorněno na obrázku 31.



Obr. 31 Okno rgbset programu AiXplug

Veškerá nastavená konfigurace je po zavření okna Routings uložena do paměti programu a zároveň do konfiguračního souboru. Při opětovném otevření programu je konfigurační soubor načten programem za předpokladu existence souboru. Pokud chce uživatel využívat vzdálené připojení TCP/IP pro externí řízení programu Freestyler 512, je nutné ručně editovat v konfiguračním souboru IP adresu a port odesílaných paketů. Po ručním zásahu do souboru je nutné restartovat program. Před jakýmkoli zásahem do konfiguračního souboru je vhodné zálohovat původní soubor pro případnou nefunkčnost nebo smazání původních dat v důsledku nekorektního přečtení dat konfiguračního souboru programem.

9 Závěr

Bakalářská práce se zabývá rozбором problematiky řízení světelné techniky pro kulturní účely a návrhem systému řízení scénického osvětlení. Nejčastější způsob řízení světelné techniky je řízení protokolem DMX 512. Tento způsob řízení je v práci podrobně rozebrán. Dále jsou popsány možnosti řízení, které vychází ze standardu DMX 512. Tyto možnosti řízení se z důvodu neustálé modernizace a rozšiřování světelného parku stávají čím dál více diskutovaným tématem.

Při návrhu systému řízení scénického osvětlení jsem vycházel především z vlastních zkušeností, získaných šestiletou praxí ve zvukové a světelné oblasti. Navržený systém řeší nedostatky stávajících systémů řízení světelné techniky prostřednictvím techniky výpočetní. Řízení světel prostřednictvím výpočetní techniky se v poslední době stalo velice populárním především pro velmi nízkou pořizovací cenu. Jeho velkou nevýhodou je vizualizace ovládacích prvků. Návrh systému spočívá v implementaci externí ovládací konzole ke stávajícímu systému. Konzole tvoří fyzické ovládací prvky ovládající virtuální prostředí. Její možnosti programovat úkony k ovládacím prvkům jsou velice benevolentní a její připojení k osobnímu počítači je s pomocí všeobecně používané sběrnice USB možné k většině výpočetní techniky.

Možným vylepšením do budoucna by mohla být realizace spárování konzole s dalšími používanými osvětlovacími programy, případně podpora programu pro zprostředkování informací dalšími platformami operačních systémů osobních počítačů. Elektronická část může být doplněna ochranou pro případné nedodržení velikosti napájecího napětí. Profesionálnější řešením propojení jednotlivých modulů se jeví oddělení napájecích vodičů od vodičů datových, dodržení poměrů vzdáleností vodičů k jednotlivým modulům a použití většího průřezu žil napájecích vodičů. Použití 5mm THT LED diod pro podsvícení tlačítek není nejvhodnějším řešením, což se ukázalo při realizaci. Lepší variantou by bylo použití menších pouzder diod nebo úplná změna způsobu podsvícení tlačítek. Příkladem může být použití SMD LED diod pro jednotlivá tlačítka, problémem tohoto řešení je nemožnost realizace klasickými mikrospláči a vysoká hustota vodivých cest na deskách plošných spojů.

Zadání bakalářské práce bylo zcela splněno. Nad rámec zadání bylo přidáno inteligentní osvětlení jednotlivých skupin tlačítek libovolnou barvou volenou uživatelem. Dále byla nahrazena nutnost lokálního osvětlení zařízení realizací celkové integrace osvětlení do horního panelu. Velkou výhodou přináší i možnost realizace vzdáleného řízení programu Freestyler 512 pomocí internetové sítě, kterou původní zadání bakalářské práce také nepředpokládalo.

Navržený systém bude realizován v několika testovacích kusech, které budou využívány při řízení světelné scény na nízkorozpočtových produkcích. Poznatky a doporučení od odborníků, kteří se zabývají osvětlovací technikou a budou mít možnost pracovat s touto konzolí, budou cennými zdroji informací pro další vylepšení a případnou možnost uvedení zařízení do sériové výroby.

10 Seznam použitých zdrojů

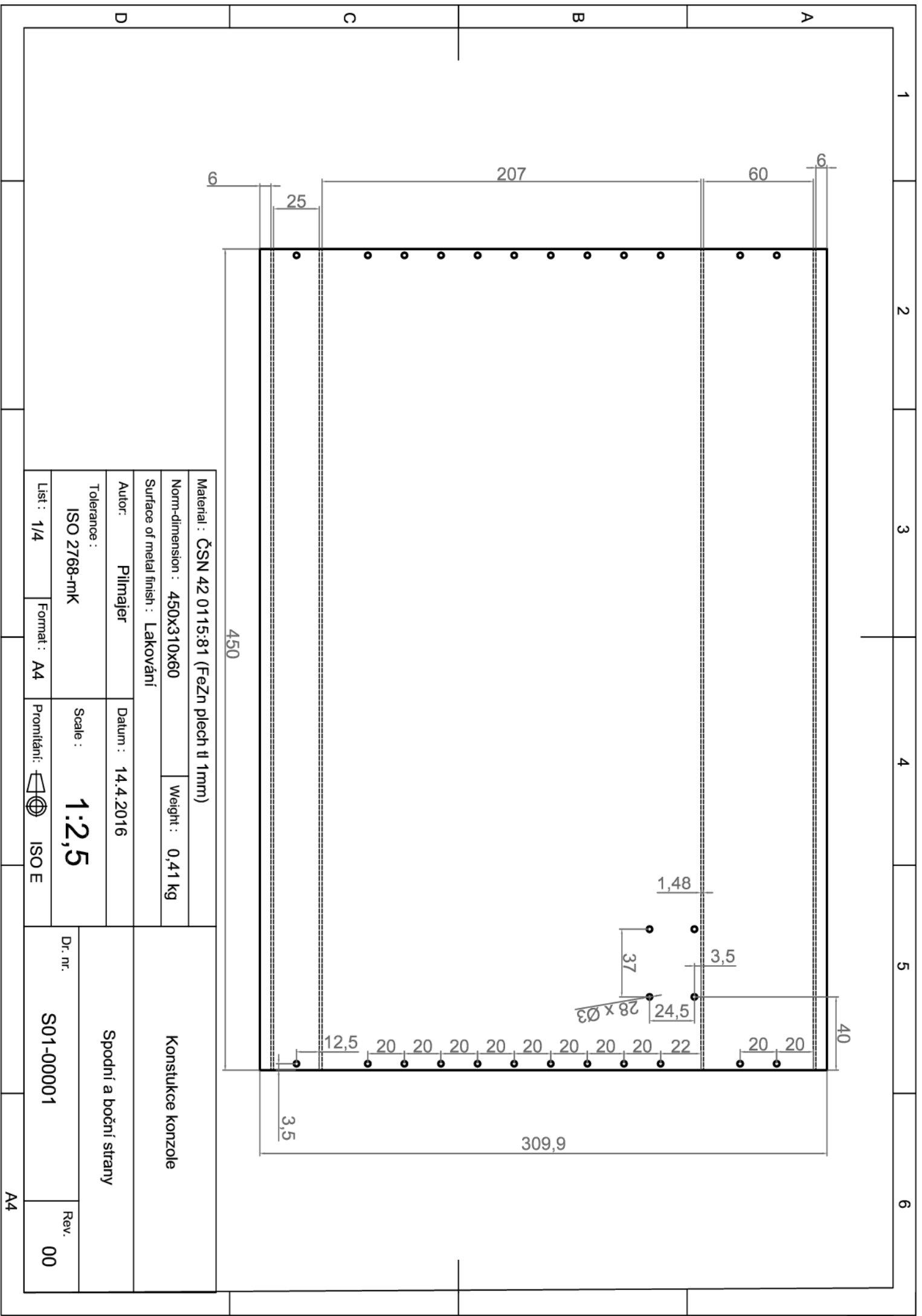
- [1] PRŮCHA, Petr. DMX řízení techniky: za světlem s drátem i bez drátu. *Frontman* [online]. 2014, (19/04/2014) [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <http://frontman.cz/dmx-rizeni-techniky-za-svetlem-s-dratem-i-bez-dratu>
- [2] Současné scénické osvětlení. *Časopis Světlo*. 2002, (03/2002). Dostupné také z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/soucasne-scenicke-osvetleni--16877>
- [3] *LIGHTING CONTROL HISTORY AND MODERN PROGRAMMING STRATAGIES* [online]. - [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: http://www.uky.edu/~jholl2/technology_pdfs/LightingControlHistory.pdf
- [4] DMX PC Lighting Software – Cheap Stage Light Controllers. *On stage lighting* [online]. 2007, (4/10/2007) [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <http://www.onstagelighting.co.uk/lighting-equipment/stage-lighting-control/dmx-lighting-software-cheap-stage-light-controllers/>
- [5] USITT. *DMX Behind the Revision* [online]. 2015 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <http://old.usitt.org/DMXBehindtheRevision.aspx>
- [6] TEXAS INSTRUMENTS. *The RS-485 Design Guide* [online]. 2008 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slla272b/slla272b.pdf>
- [7] ANSI BOARD OF STANDARDS. *CPWG Minutes Control Protocols Working Group* [online]. Dallas, 2003 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: http://tsp.plasa.org/tsp/working_groups/CP/docs/CPmin07-2003w.pdf
- [8] ARTISTIC LICENCE HOLDINGS. *Specification for the Art-Net 3 Ethernet Communication Protocol* [online]. London, 1998, 2015 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <http://www.artisticlicence.com/WebSiteMaster/User%20Guides/art-net.pdf>
- [9] ANSI BOARD OF STANDARDS. *Entertainment Technology RDM Remote Device Management Over DMX512 Networks* [online]. 2010, 2011 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: http://tsp.plasa.org/tsp/documents/docs/ANSI_E1-20_2010.pdf
- [10] ANSI BOARD OF STANDARDS. *Entertainment Technology USITT DMX512 - A Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories* [online]. PLASA North America, 2008, 2013 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: http://tsp.plasa.org/tsp/documents/docs/E1-11_2008R2013.pdf
- [11] *Universal Serial Bus Specification* [online]. 2000 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: http://sdphca.ucsd.edu/Lab_Equip_Manuals/usb_20.pdf
- [12] *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.

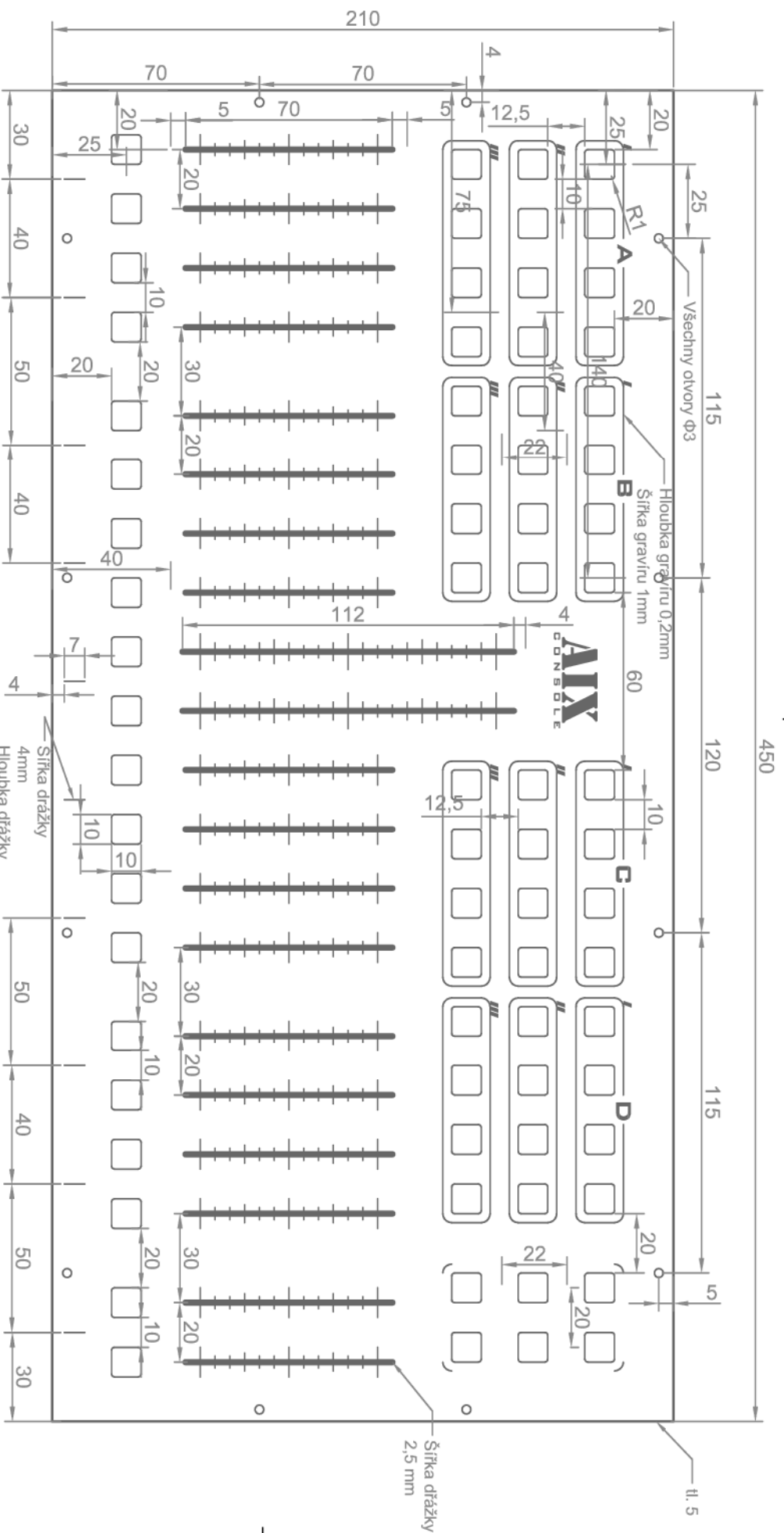
- [13] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘADA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Třetí, doplněné vydání. Praha: Scientia, spol. S.R.O., 1999. ISBN 80-7183-164-6.
- [14] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *PIC18(L)F2X/45K50* [online]. 2014 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30000684B.pdf>
- [15] WORLD SEMICONDUCTOR, INC. *Preliminary WS2803* [online]. 2008 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.jarzebski.pl/datasheets/WS2803.pdf>
- [16] NXP SEMICONDUCTORS. *HEF4051B* [online]. 2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/HEF4051B.pdf
- [17] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *MPLAB® C18 C COMPILER LIBRARIES* [online]. 2005 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB_C18_Libraries_51297f.pdf
- [18] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *USB Generic Function on an Embedded Device: AN1166* [online]. 2008 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01166a.pdf>
- [19] URBIŠ, Hynek. *USB - Univerzální Sériová Sběrnice* [online]. 2000 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PZ2/public/TEXTY/USB.pdf>
- [20] ERDFELT, Johannes. *Libusb Developers Guide* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://libusb.org/static/api-0.1/>
- [21] DIOTEC SEMICONDUCTOR AG. *BC817K / BC818K* [online]. 2011 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/sk/Document/df44ff93b9d2dfdece5a3cdf06ec8076/bc817k.pdf>

11 Seznam obrázků

Obr. 1	Obecné schéma řetězce zařízení	- 9 -
Obr. 2	Schéma topologie sběrnice DMX512	- 12 -
Obr. 3	DMX 512 paket.....	- 13 -
Obr. 4	DMX 512 datový rámeček.....	- 14 -
Obr. 5	Příklad použití technologie Art-Net.....	- 15 -
Obr. 6	Blokové schéma zapojení 1.....	- 20 -
Obr. 7	Blokové schéma zapojení 2.....	- 20 -
Obr. 8	Blokové schéma zapojení 3.....	- 21 -
Obr. 9	Rozdělení ovládacích prvků na panelu	- 21 -
Obr. 10	Rozdělení nastavitelných tlačítek.....	- 22 -
Obr. 11	Skupina doplňující tlačítka.....	- 22 -
Obr. 12	Celkové bílé podsvícení konzole	- 23 -
Obr. 13	Tvar konstrukce.....	- 26 -
Obr. 14	Rozvinutá délka ohýbané součásti	- 27 -
Obr. 15	Plán složení jednotlivých konstrukčních částí	- 27 -
Obr. 16	Podsvícení skupiny tlačítek.....	- 27 -
Obr. 17	Gravírované oddělující čáry na horní straně konzole	- 28 -
Obr. 18	Fyzické rozložení DPS.....	- 29 -
Obr. 19	Blokové schéma elektronických komponent	- 30 -
Obr. 20	Schéma zapojení tlačítek.....	- 32 -
Obr. 21	Schéma zapojení tahových potenciometrů.....	- 33 -
Obr. 22	Zapojení tahového potenciometru.....	- 34 -
Obr. 23	Analogový model A/D převodníku.....	- 35 -
Obr. 24	Základní algoritmus programu v mikrokontroléru.....	- 39 -
Obr. 25	Algoritmus USB přerušení.....	- 41 -
Obr. 26	Algoritmus přerušení obsluhující ovládací prvky	- 43 -
Obr. 27	Algoritmus vysílače DMX 512	- 44 -

Obr. 28 Algoritmus pro SSPI komunikaci	- 46 -
Obr. 29 Hlavní okno programu AiXplug	- 48 -
Obr. 30 Okno routing programu AiXplug.....	- 49 -
Obr. 31 Okno rgbset programu AiXplug	- 50 -





Material : ČSN EN ISO 8257-2 (PMMA)

Norm-dimension : 450X210X5

Weight : 0,32 kg

Konstrukce konzole

Surface of metal finish :

Autor: Pilmajer

Datum : 14.4.2016

Tolerance :

Scale :

ISO 2768-mK

1:2

Horní panel

List : 3/4

Format : A4

Promítání:

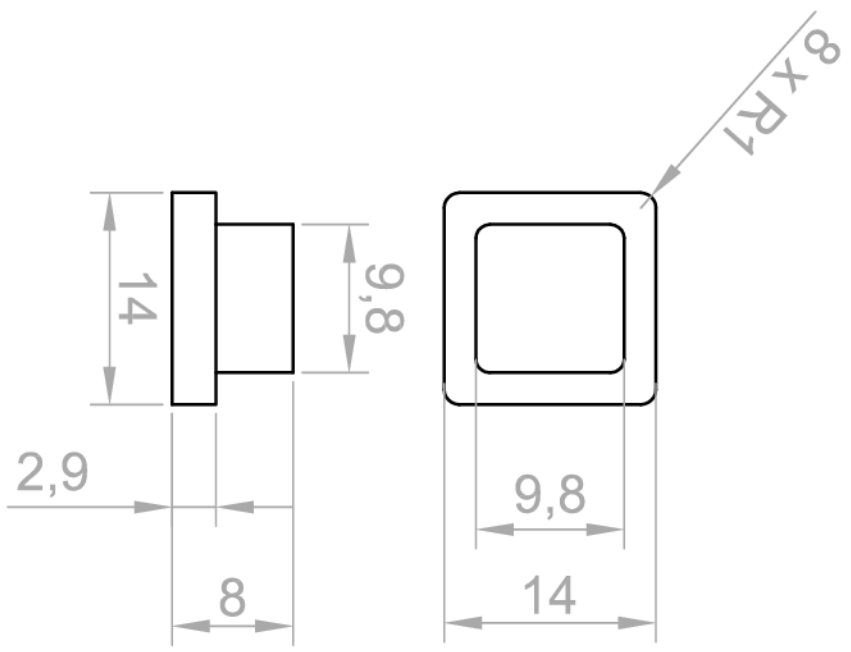
ISO E

Dr. nr.

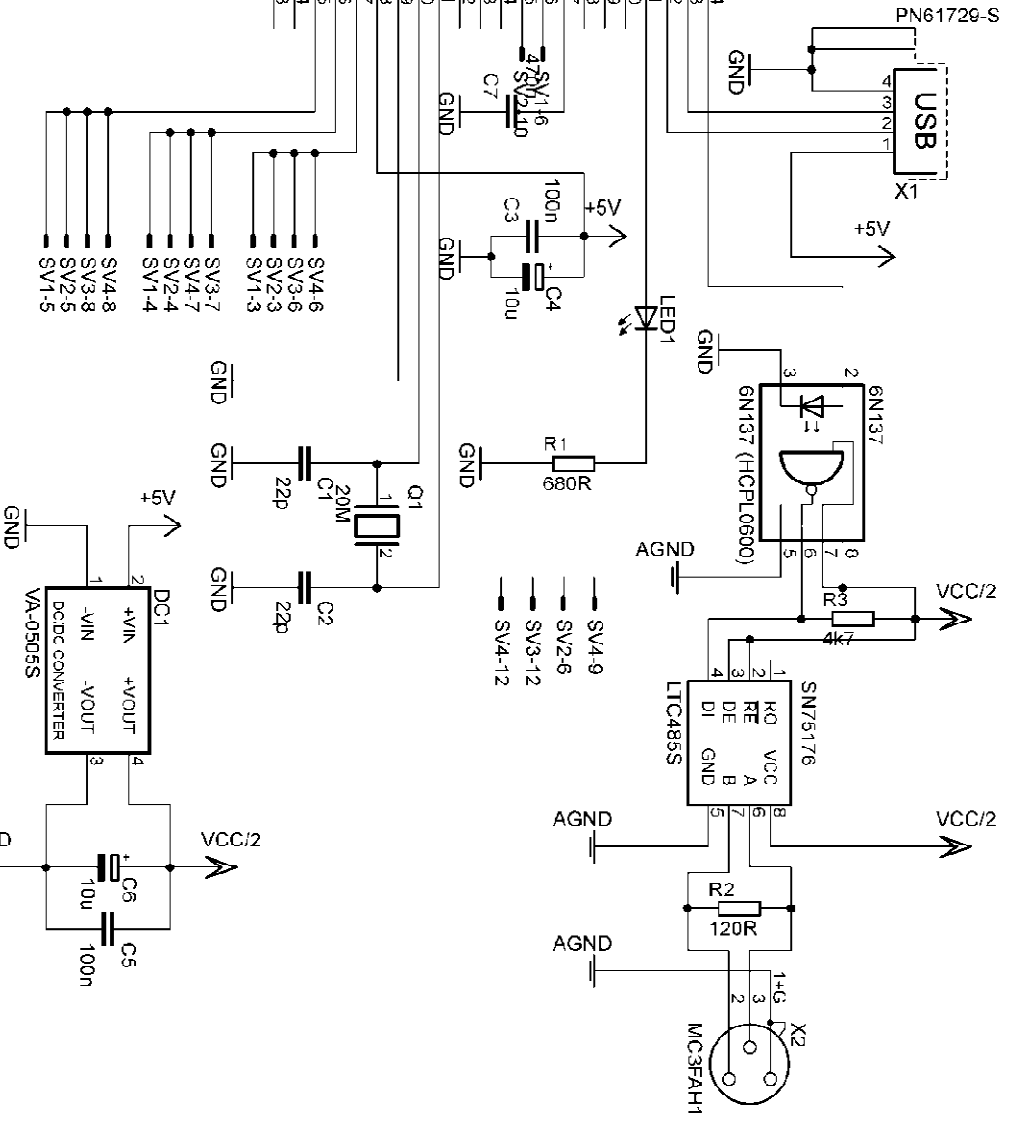
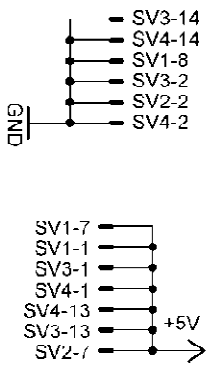
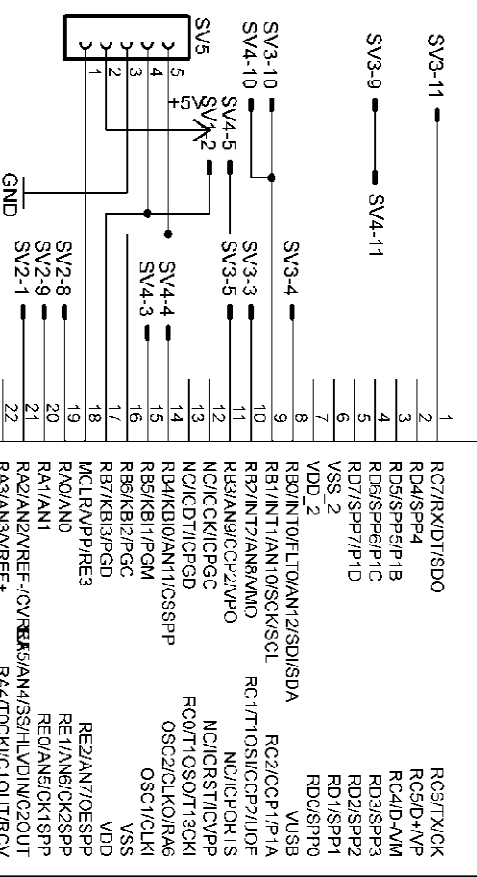
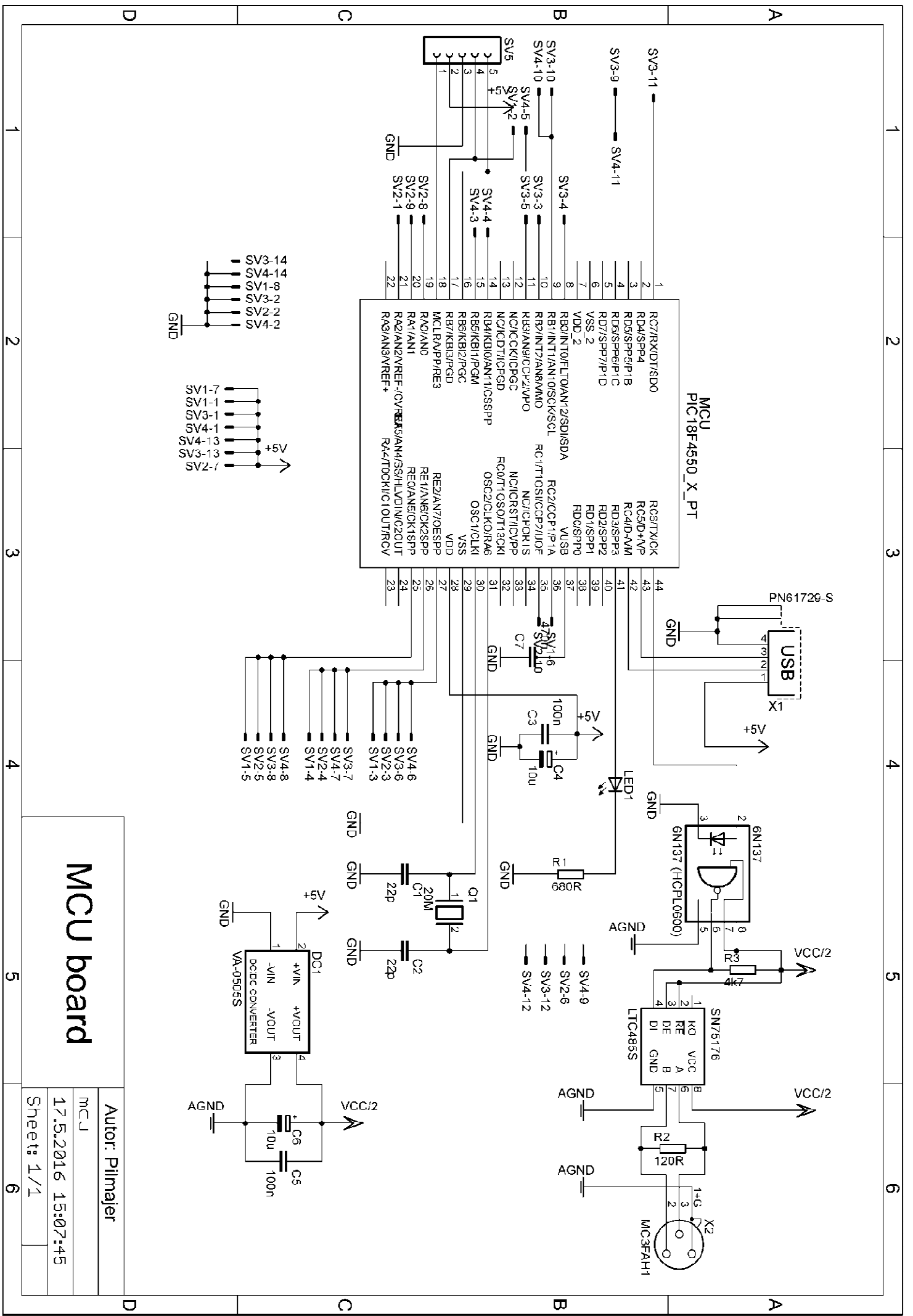
S01-00003

Rev. 00

A4



Material : ČSN EN ISO 8257-2 (PMMA)		Konstrukce konzole	
Norm-dimension : 14x14x8	Weight : 0,03 kg	Tlačíko	
Surface of metal finish :			
Autor: Pilmajer	Datum : 14.4.2016	Dr. nr. S01-00004	
Tolerance : ISO 2768-mK	Scale : 2:1		
List : 4/4	Format : A4	Prontáni:	Rev. 00



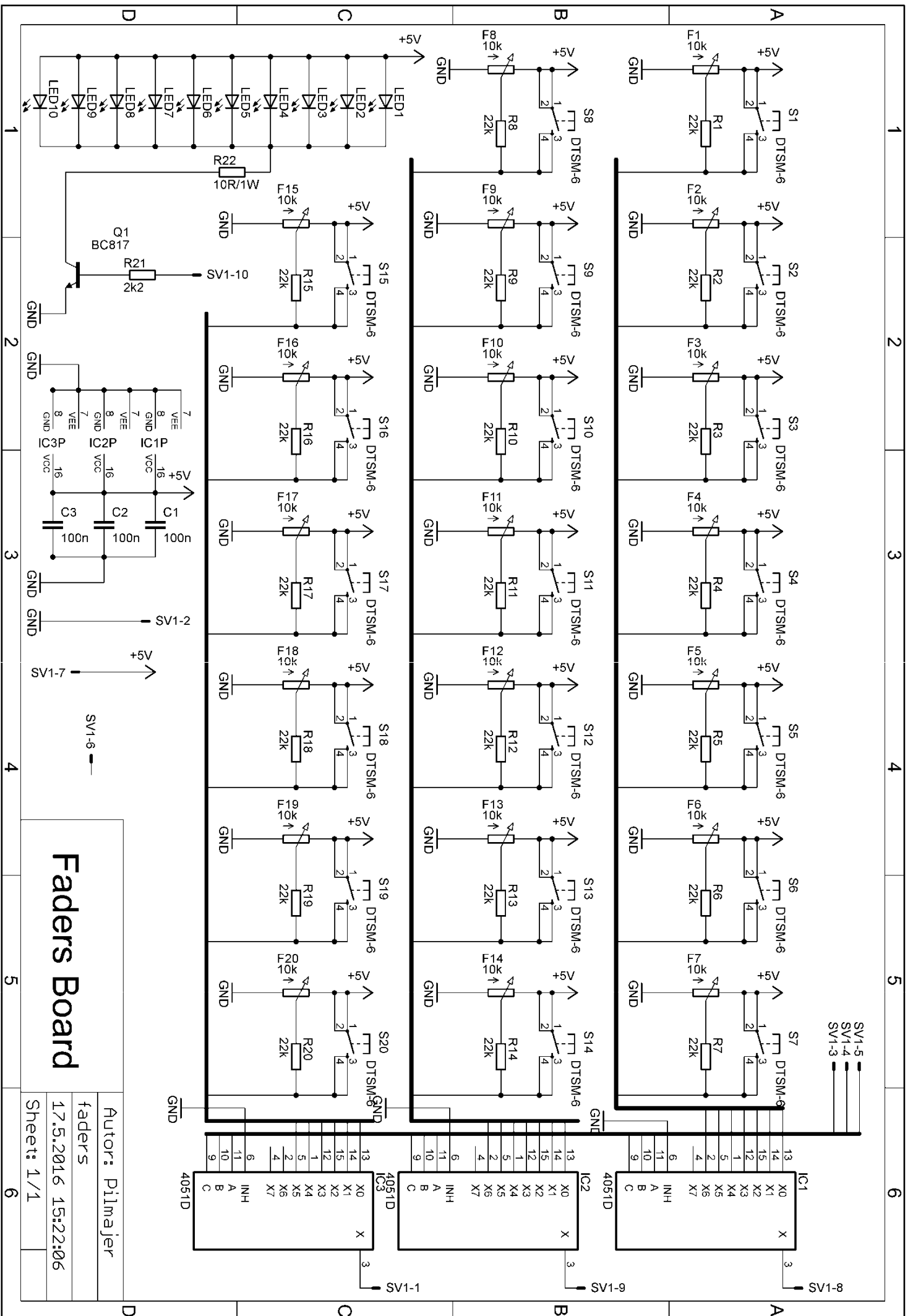
MCU board

Autor: Pilmajer

MCU

17.5.2016 15:07:45

Sheet: 1/1



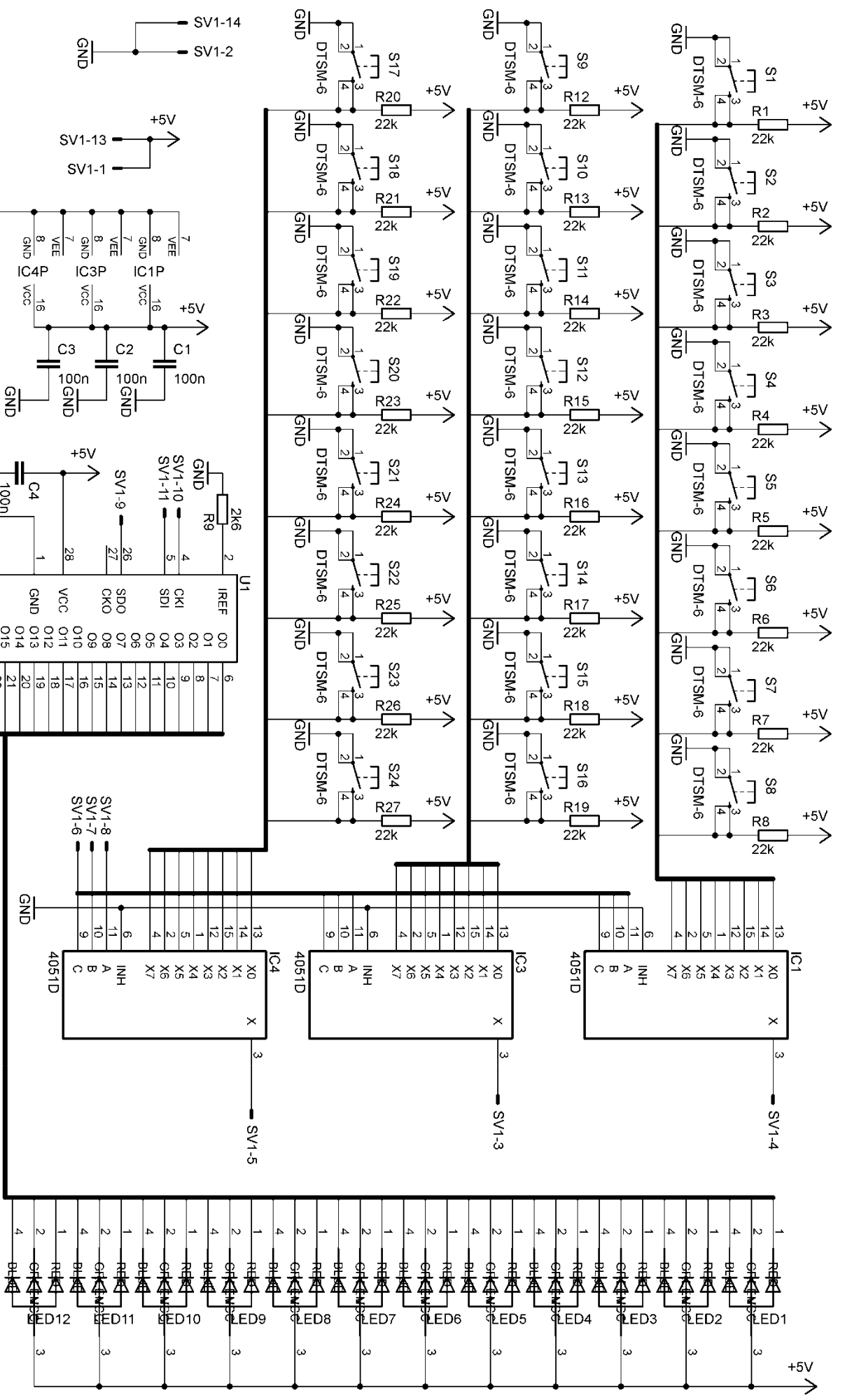
Faders Board

Autor: Pilmajer

faders

17.5.2016 15:22:06

Sheet: 1/1



Buttons board

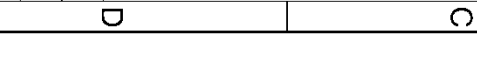
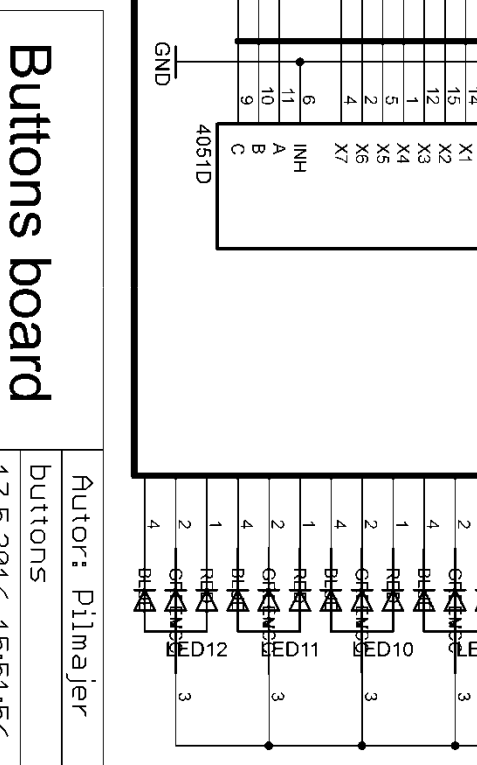
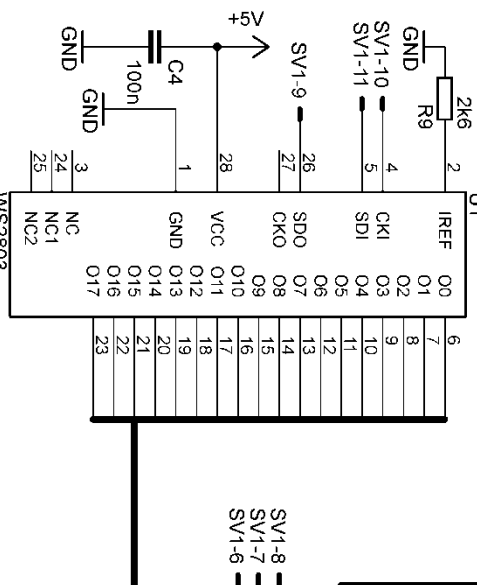
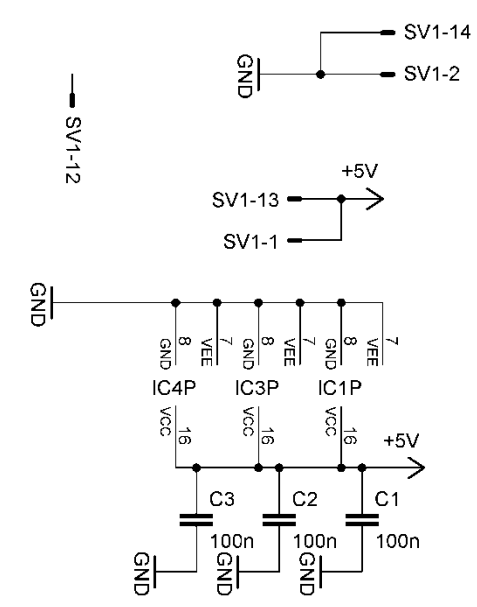
Autor: Pilmajer

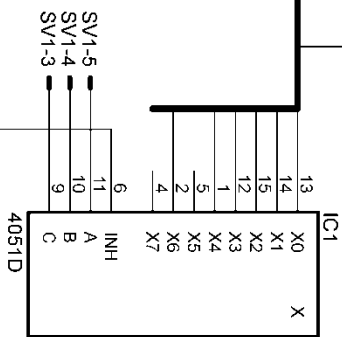
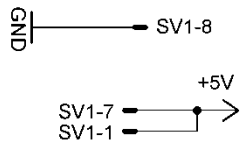
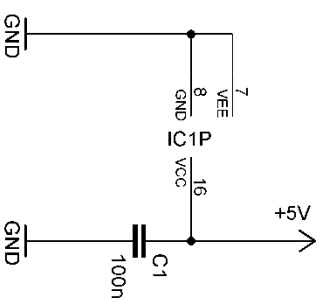
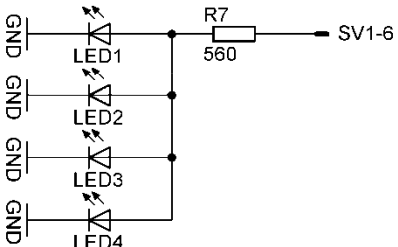
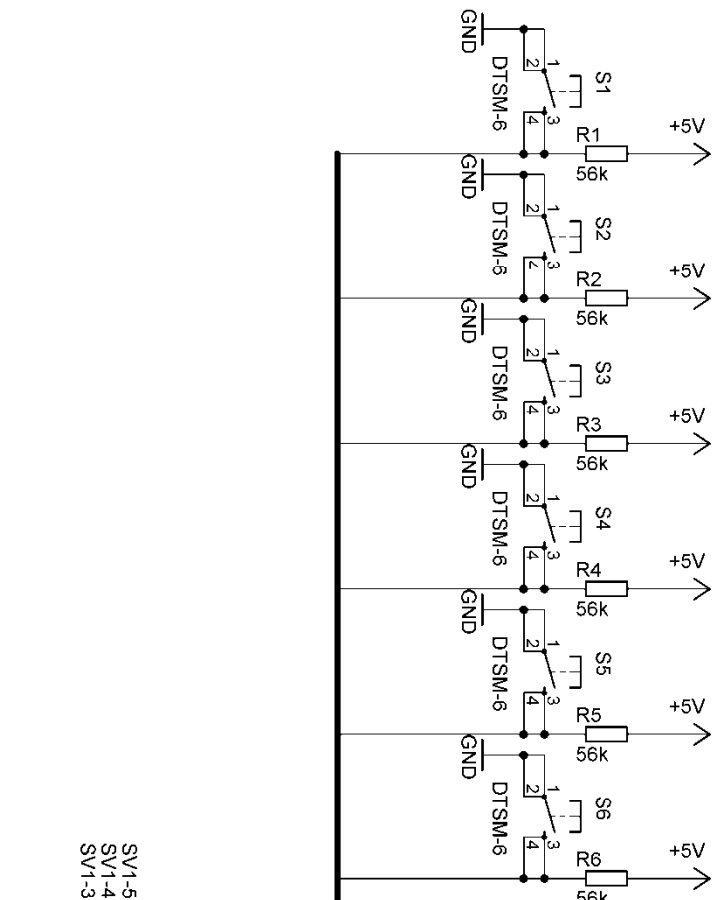
buttons

17.5.2016 15:51:56

Sheet: 1/1

WS2803





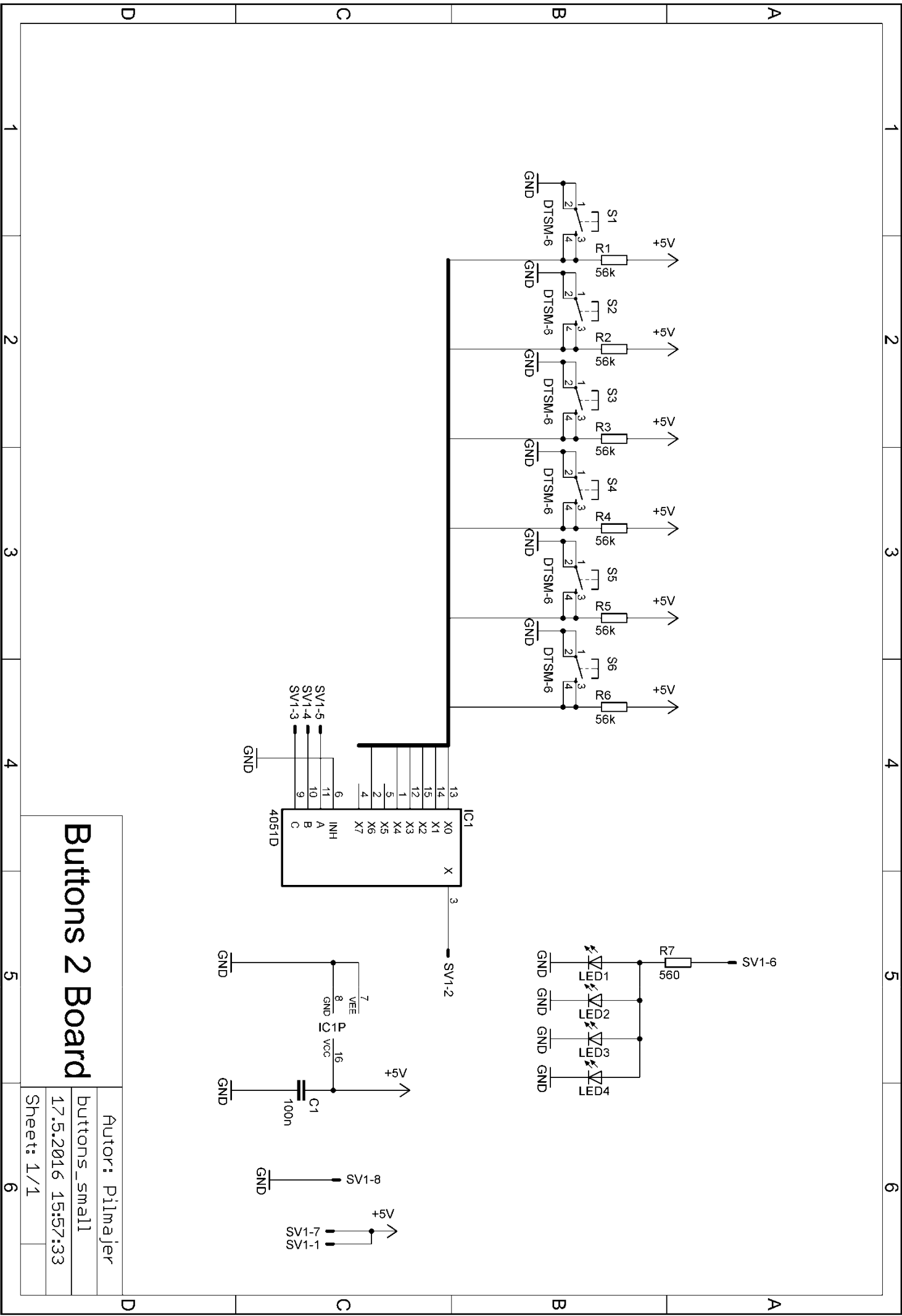
Buttons 2 Board

Autor: Pilmajer

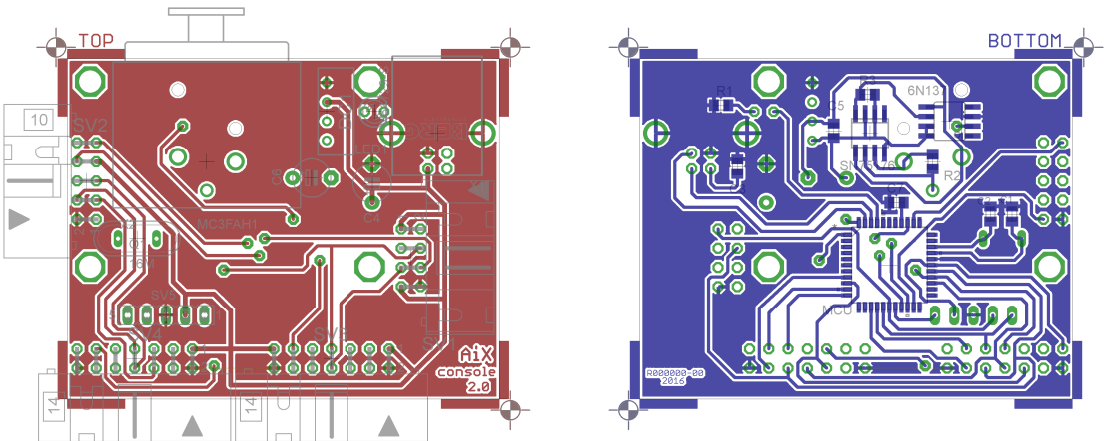
buttons_small

17.5.2016 15:57:33

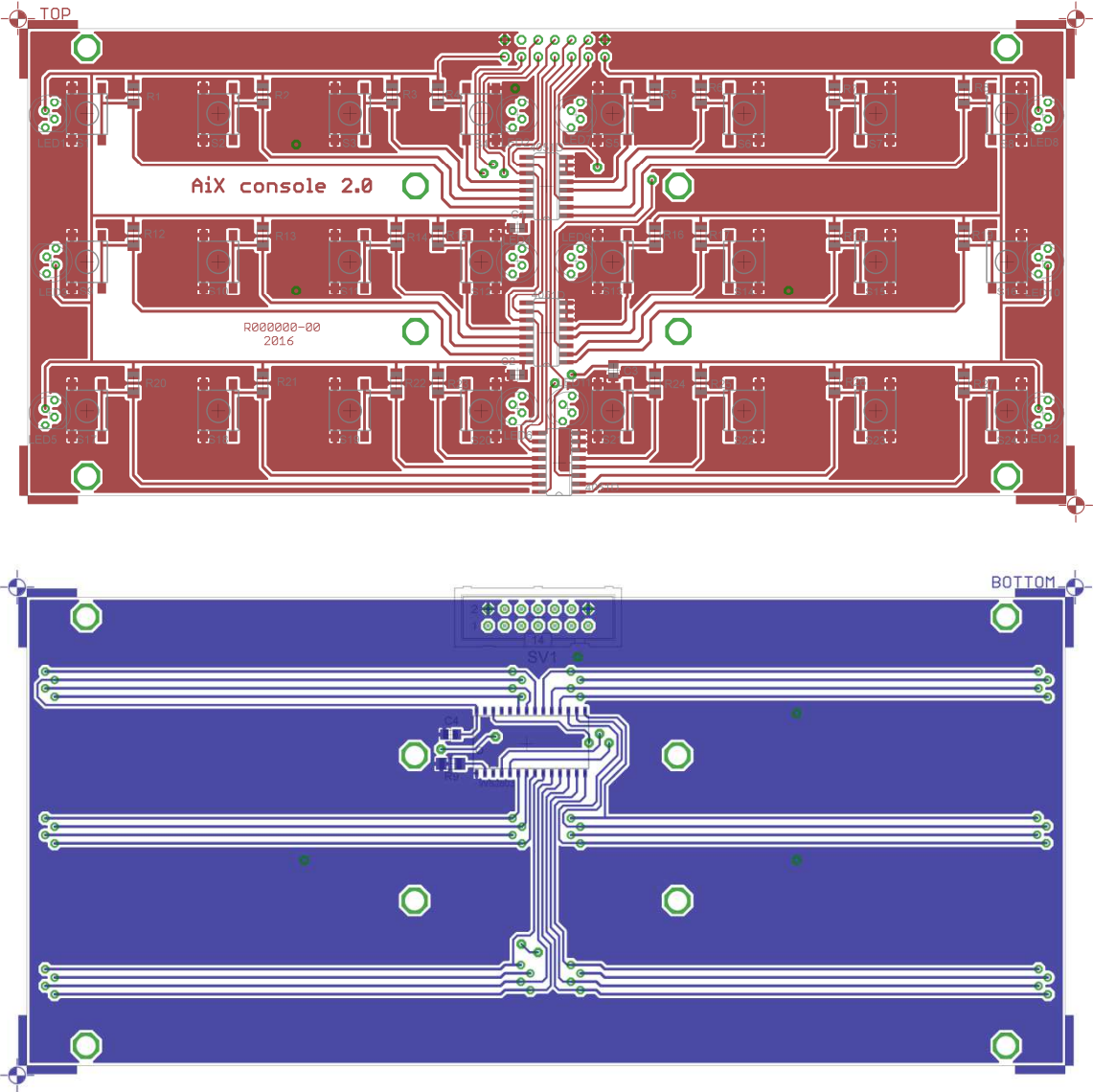
Sheet: 1/1



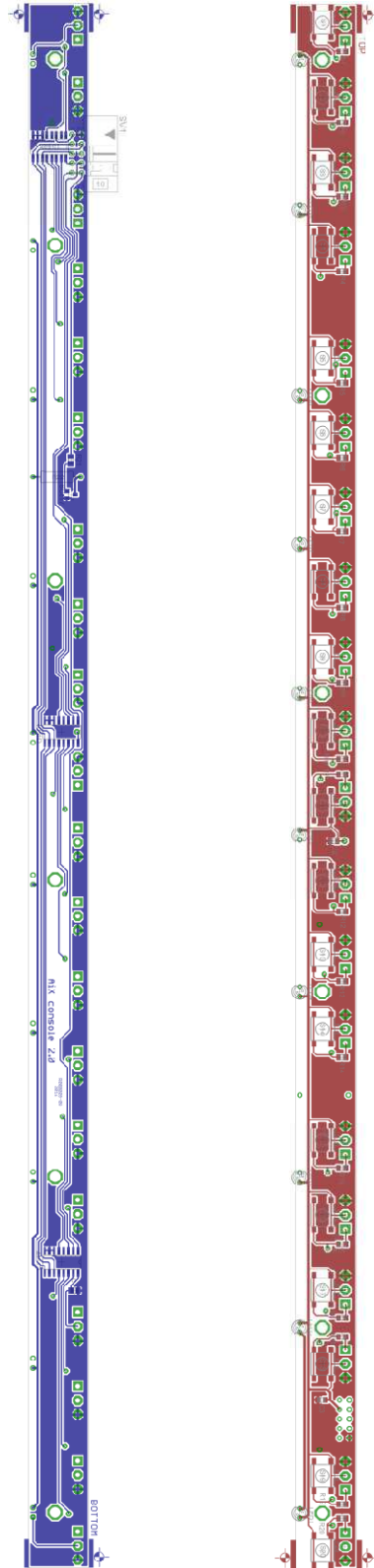
MCU board – layout



Button board - layout



Faders board – layout – Měřítko 1:2



Buttons 2 - layout

