

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Návrh zapojení DMX ovladače LED RGB
pásků

Sezimovo Ústí, 2012

Autor: Martin Pistulka



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Martin Pistulka**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
Název práce: **Návrh zapojení DMX ovladače LED RGB pásků**

Zásady pro vypracování:

1. Popište protokol DMX 512, uveďte do problematiky LED a LED RGB pásků.
2. Navrhněte D/A převodník, jehož vstupem bude digitální signál na protokolu DMX 512 a výstupem PWM regulace pro LED RGB pásky.
3. Navrhněte konstrukční řešení a DPS pro konkrétní aplikaci.
4. Vytvořte popis funkce celého zařízení, jeho výhod a nevýhod a použití v praxi.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

Vedoucí práce: Ing. Fuka Jan., VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Ing. Tomáš Bourek, Tábor
Oponent práce: Bc. Miroslav Hospodářský, VOŠ, SŠ, COP, Sez. Ústí

Datum zadání absolventské práce: **1.9.2011**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2012**

Ing. Jan Fuka
(vedoucí práce)



V Sezimově Ústí dne 3.9.2011

Ing. František Kamlach
(ředitel školy)

Anotace

Tato práce popisuje návrh a realizaci stmívače pro LED RGB pásy ovládaného pomocí standardního protokolu DMX 512 pro světelná zařízení. Jsou zde popsány jednotlivé kroky návrhu od teoretických návrhů zapojení, až po vytvoření prototypu vlastního zařízení.

Klíčová slova:

Převodník, regulátor, protokol, program, zdroj, řídicí systém, procesor, regulace.

Annotation

This thesis describes the design and implementation of dimmer for the RGB LED strips, which is controlled by standard protocol for lighting equipment DMX 512. It describes various steps in the design from theoretical proposals for involvement to the prototype creation of this equipment.

Key words:

Converter, controller, protocol, program, source, control system, processor, control.

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval panu Ing. Tomáši Bourkovi za cenné rady a to jak při tvorbě této práce, tak i vlastního projektu, o kterém tato práce pojednává.

Děkuji Ing. Janu Fukovi za odborné vedení a konzultace nad rámec jeho pracovních povinností, Mgr. Vladimíru Chalupovi za pomoc při překladu anotace a Ing. Jiřímu Roubalovi za korekturu této práce a pedagogické vedení při její tvorbě.


Dále bych rád poděkoval panu Miroslavu Madrovi za tvorbu a laskavé poskytnutí ovládacího softwaru a panu Tomáši Pěnkovi za nápady a připomínky k vlastnímu projektu.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu a toleranci mého časového vytížení spojeného s touto prací.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, software atp.) uvedené v příloženém seznamu.

V Táboře dne 29.4.2012



podpis

Obsah

Obsah	8
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	10
1. Úvod.....	11
2. Popis protokolu DMX 512, úvod do problematiky LED a LED RGB pásků	12
2.1. Protokol DMX 512.....	12
2.1.1. Historie vzniku DMX 512	12
2.1.2. Elektrická specifikace sběrnice DMX 512	13
2.1.3. Datový formát DMX512.....	14
2.1.4. Propojení zařízení sběrnicí DMX 512	16
2.2. Úvod do LED	18
2.2.1. Historie LED.....	18
2.2.2. Výhody LED.....	19
2.2.3. Příklady použití.....	19
2.2.4. Fungování LED, elektrické vlastnosti	23
2.2.5. Regulace svitu LED	23
3. Návrh D/A převodníku z DMX 512 na PWM pro LED RGB pásky.	26
3.1. PWM modulace.....	26
3.1.1. Princip PWM	26
3.1.2. PWM regulátor pro LED pásky	27
3.2. Převodník DMX512 – TTL.....	28
3.3. Zapojení převodníku DMX512 – PWM	29
3.4. Program procesoru	32
4. Návrh realizace	33
4.1. Zdroj.....	34
4.2. Řídicí část.....	37
4.3. Regulátory	38

4.4.	Konstrukce	39
4.4.1.	Výpočet velikosti chladiče.....	39
4.5.	Vnější konstrukce.....	42
5.	Popis funkce zařízení.....	43
5.1.	Popis zařízení	43
5.2.	Celkové zhodnocení	44
5.2.1.	Výhody zařízení	44
5.2.2.	Nevýhody zařízení	44
Závěr	46
Použitá literatura	47
A Použitý SoftWare	I
B Fotografie z vlastní realizace	II
C Program procesoru	IV
D Obsah přiloženého DVD	IX

Seznam obrázků

2.1	Časování protokolu DMX 512	13
2.2	Zapojení konektorů pro zařízení s DMX 512.....	16
3.1	Průběhy PWM modulace s různou střídou.....	26
3.2	Schéma zapojení výkonové části PWM regulátoru.....	27
3.3	Převodník SN 75176	28
3.4	Zapojení převodníku DMX 512	29
3.5	Zapojení pinů mikroprocesoru AT89C2051	29
3.6	Blokové schéma procesoru AT89C2051.....	30
4.1	Usměrněné napětí pomocí Graetzova můstku.....	34
4.2	Zapojení stabilizátoru.....	35
4.3	Deska plošných spojů řídicí části	36
4.4	Spínací jednotka regulátorů.....	37

Seznam tabulek

2.1	Hodnoty datového paketu protokolu DMX 512.....	17
2.2	Zapojení pinů XLR konektorů pro DMX.....	18

1. Úvod

Rychlý vývoj v oblasti technologií LED vede k neustálému rozvoji jejich použití a to zejména v osvětlení interiérů, kde nahrazují klasické světelné zdroje. Výrazné a intenzivní barevné osvětlení realizované pomocí LED nalézá uplatnění v hudebních klubech, či jiných kulturních zařízeních.

Počátkem roku 2011 byl vznesen od provozovatele jednoho z takovýchto klubů požadavek na vytvoření dekorativního osvětlení interiérů a to právě pomocí LED. Pro realizaci byly zvoleny LED RGB pásy, které změnou barvy mohou vhodně doplnit atmosféru v interiéru, podle okamžitých požadavků provozovatele. Při plánování instalace vznikla otázka čím tyto pásy ovládat. Komerčně vyráběné ovladače z různých důvodů nevyhovovaly, a proto bylo rozhodnuto o vývoji a výrobě ovladače vlastního.

V této práci je popsán postup návrhu a realizace tohoto projektu. Během práce byl realizován prototyp tohoto ovladače, vývoj však stále není ukončen. Přesto tato práce může sloužit nejen jako popis návrhu, ale i jako příklad a návod, jak při návrhu podobného projektu postupovat.

2. Popis protokolu DMX 512, úvod do problematiky LED a LED RGB pásků

2.1. Protokol DMX 512

DMX 512 je protokol vyvinutý k řízení světelné techniky, který se stal standardem v jevištní technice, profesionální touringové technice, ale i v pevných instalacích světelných parků klubů a heren. Vznikl jako náhrada dříve používaného systému napěťového, analogové řízení 0-10V. Protokol DMX 512 vychází ze specifikace průmyslového standardního protokolu EIA485, dříve označovaného jako RS-485, případně RS485.

2.1.1. Historie vzniku DMX 512

Protokol DMX512 byl navržen v roce 1986 institutem pro divadelní techniku spojených států USITT (United States Institute for Theatre Technology) pro řízení stmívačů a dalších speciálních efektů pomocí digitálního rozhraní. Specifikace protokolu byla vydána čtyři roky poté pod názvem „DMX512/1990“ [1]. Tento protokol pak postupně nahradil do té doby používané analogové řízení, kde jako řídicí veličina sloužila konkrétní hodnota napětí na řídicím kabelu. Analogové řízení mělo řadu nevýhod, například každý řízený vstup potřebuje vlastní vodič, na kterém je napětí pro jedno řízené zařízení. Dodržet přesnost řídicí veličiny také nebylo jednoduché, například kvůli vlivu výrobních tolerancí nebo odporu přírodních vodičů. Dalším problémem bylo, že různí výrobci používali jiná rozmezí řídicích napětí, různá zařízení tak mohla stejné napětí na řídicím vodiči chápat jako rozdílné povely. Jinou nevýhodou bylo používání

různé kabeláže a konektorů, což znemožňovalo vzájemné propojení výrobků různých výrobců.

Analogový napěťový přenos je také náchylný na rušení a výkonové stmívací jednotky, nebo i jiná světelná zařízení, jsou silným zdrojem elektromagnetického záření. Z toho všeho plyne, že používání napěťového řízení je poměrně nepraktické.

V roce 1996 začaly přípravy na úpravu normy protokolu DMX s podmínkou zpětné kompatibility, které pak byly zveřejněny v roce 1998 v dokumentu USITT „DMX512/1998“ a jsou platné do současné chvíle.

2.1.2. Elektrická specifikace sběrnice DMX 512

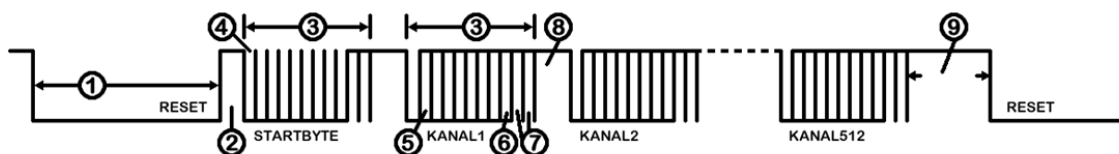
Elektrická specifikace sběrnice DMX 512 vychází ze specifikace sběrnice EIA485. [2]

- Diferenciální (symetrický) napěťový přenos po kroucené dvoulince se schopností pracovat od napájecího napětí +5 V
- Rozsah přípustného napětí na sběrnici od -7 V do +12 V
- Možnost připojení až 32 přijímačů v jednom segmentu (existují budiče umožňující použít až 256 přijímačů)
- Impedanční přizpůsobení linky – zakončovacím odporem (terminátor) 120 Ohmů
- Minimální zatěžovací impedance vysílače je 60 Ohmů
- Maximální zkratový proud vysílače je 150 mA proti zemi, 250 mA proti 12 V
- Maximální délka kabelu je 4000 stop (přibližně 1200 m) při přenosové rychlosti max. 400 kBit/s.
- Počet segmentů není limitován
- Budič musí být schopen dodat na sběrnici rozdílové vstupní napětí od 1,5 do 5 V

- Budič musí mít ochranu pro případ, že by se více budičů pokoušelo vysílat na jedné sběrnici
- Přijímač by měl mít minimální vstupní impedanci 12 kOhm
- Přijímač musí mít minimální vstupní citlivost ± 200 mV

2.1.3. Datový formát DMX512

Přenosová rychlost protokolu DMX512 je 250kB/s a jak již název napovídá, velikost datového paketu je 512 datových bajtů. Přenos dat je sériový, data jsou odesílána bez adresy, takže o „přeložení“ se stará každé jednotlivé připojené zařízení, které má nastavenou svou počáteční adresu, od které si odečítá požadovaný počet paketů. Počáteční adresa může být 1-512 (resp. 0-511). Ze specifikace protokolu EIA485 vyplývá, že na sběrnici smí být připojeno jen 32 přijímačů, pokud je požadován větší počet přijímačů, je potřeba použít opakovač nebo rozdělovač signálu. Jednotlivé přijímače mohou obsluhovat více adres. Stejně tak mohou být shodné adresy obslouženy více přijímači. Pokud budou dvě zařízení používat shodnou adresu, bude i jejich funkce shodná, pokud se tedy bude jednat o shodná zařízení. Časování v protokolu DMX 512 je vidět na **obrázku 1** a v **tabulce 1** jsou pak jednotlivé příslušné hodnoty.



Obrázek 2.1: Časování protokolu DMX 512

Tabulka 2.1: Hodnoty datového paketu protokolu DMX 512

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

Přenos je realizován asynchronně a jeho začátek je synchronizován nulovou úrovní „Break“ (Reset), která musí trvat nejméně 88 μs, a následující synchronizační mezerou MAB (Mark After Break) s vysokou úrovní a minimální délkou trvání 8 us. Dále následuje první poslaný rámec (start code) a za ním zbývajících 512 datových rámců. Každý rámec (přenesený bajt) se skládá z jednoho start bitu, osmi datových bitů bez parity a dvěma stop bity. Mezi jednotlivými rámci mohou být mezery MTBF (Mark Time Between Frames) a MTBP (Mark Time Between Packet) v délce nejvíce 1 s. [3]

Víme-li tedy, že přenosová rychlost je 250kBit/s, lze odvodit následující časové údaje – doba trvání jednoho bitu je 4 us a datového rámce tedy 44 us (11bitů). Jak je patrné, časové hodnoty resetu a synchronizační mezery tedy nejsou čistě náhodné.

Délka trvání celkového přenosu s počtem 512 datových bajtů je tedy dána následující rovnicí $\text{Break} + \text{MAB} + (1 + 512) \times \text{rámec}$, tedy po dosazení $88 + 8 + 513 \times 44 = 22668$ us. Nejvyšší možná opakovací frekvence je tedy přibližně 44,12 Hz.

Norma dále řeší datové stavy, které se na sběrnici mohou objevit. Konkrétně se jedná o dlouhodobý výskyt vysoké, či nízké úrovně. Jestliže bude tento výskyt delší než 1s, je brán jako ztráta signálu. Chování zařízení po ztrátě signálu není normou definované, a proto je u rozdílných zařízení s tímto stavem nakládáno rozdílně. Zařízení se může například resetovat, zůstat v posledním nastavení nebo se resetovat po delší době. Úrovně špičky kratší než 1s se na sběrnici mohou objevit v důsledku chyby vzniklé ve zdroji signálu nebo v přenosové cestě. Protokol DMX 512 není zpětnovazební a připouští chybu na lince, z tohoto důvodu je přísně zakázáno používat tento protokol k odpalování pyrotechnických efektů, mohlo by totiž dojít k jejich nechtěnému odpálení.

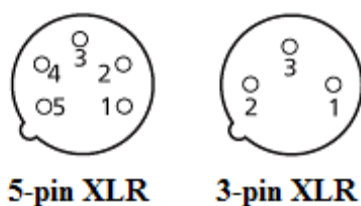
2.1.4. Propojení zařízení sběrnicí DMX 512

Přestože standard DMX512 používá k propojení zařízení pěti-pinové konektory XLR, v praxi se lze setkat spíše s používáním konektorů tří-pinových, které jsou však v normě speciálně zakázány. Důvody použití těchto konektorů v drtivé většině používaných zařízení jsou zřejmé, tří-pinové konektory XLR jsou hojně používány k propojování mikrofonů a jiných audio zařízení, jejich cena je proto značně nižší než cena konektorů pěti-pinových.

Jako propojovací vodič by podle specifikací měl být používán vodič s impedancí 120 Ohmů, protože jsou však tyto vodiče nákladné, používají se klasické symetrické mikrofonní kabely, které vyhoví v naprosté většině případů. Zařízení DMX je tedy možné propojovat klasickými mikrofonními kabely včetně koncovek, pokud není na škodu určité omezení maximálních propojovaných vzdáleností. Rozložení jednotlivých pinů zmiňovaných konektorů je na **obrázku 2.2**, zapojení pak v **následující tabulce**.

Tabulka 2.2: Zapojení pinů XLR konektorů pro DMX

Pin	Vodič	Signál
1	stínění	Zem 0V
2	1 pár (black)	Data-
3	1 pár (white)	Data+
4 (již se nepoužívá)	2 páry (green)	Data2-
5 (již se nepoužívá)	2 páry (red)	Data2+



Obrázek 2.2: Zapojení konektorů pro zařízení s DMX 512

Jak je vidět v tabulce 2, pinu 4 a 5 se u 5-pinového XLR konektoru v praxi nepoužívá, někteří výrobci se je pokoušeli využít pro napájení ovladačů apod., norma to sice výslovně nezakazuje, ale ani nepovoluje. Kvůli nekompatibilitě s jinými ovladači a také vlivem hojného používání 3-pinových XLR konektorů, se od tohoto řešení dnes zcela upustilo. Zapojování těla konektoru na stínění se silně nedoporučuje kvůli možnému vzniku zemních smyček. Zařízení se zpravidla zapojují jako průchozí, do zařízení na konci linky je vhodné zapojit terminátor k omezení odrazů na vedení.

2.2. Úvod do LED

LED RGB pásy, které jsou uváděny v této práci, jsou složeny ze sériových trojic SMD LED (LED pro povrchovou montáž) umístěných na vodičích ve tvaru pásu. Označení RGB znamená, že každý čip obsahuje tři LED emitující červenou (Red), zelenou (Green) a modrou (Blue) barvu, jejich kombinacemi lze získat prakticky libovolný odstín barevného spektra vnímaného lidským okem. Tento jev bude dále popsán v kapitole 2.2.3.4.

2.2.1. Historie LED

Pravděpodobně první zprávu o pozorování elektroluminescence diody podal Henry Joseph Round v *Electrical world* [4] a to již v roce 1907. Uvedl, že karbid křemíku, po připojení napětí mezi dva body na něm, začal emitovat nažloutlé světlo. Round provedl několik pokusů s krystaly z různých materiálů, přičemž k elektroluminescenci některých bylo zapotřebí mnohem vyšší napětí. Dále popsal, že zdrojem záření je vždy záporný pól, z čehož se dá usuzovat, že se skutečně jednalo o jev na diodě. Protože se však Round výzkumem dále nezabýval, lze další významné zmínky k LED nalézt až ve dvacátých letech dvacátého století.

V té době se elektroluminescenci věnoval ruský vědec bez formálního vzdělání, Oleg Vladimirovich Losev. Ve své práci „Luminous carborundum detector and detection effect and oscillations with crystals“ [5] poprvé popsal elektroluminescenci na diodě, změřil voltampérové charakteristiky a popsal prahový proud pro zahájení elektroluminescence. Na základě Einsteinovy kvantové teorie popsal, jak LED fungují a pomocí Planckovy konstanty dokonce určil napětí na diodě pro specifickou vlnovou délku, jeho rovnice je stále používána. Losev dokonce písemně požádal Einsteina o pomoc s vypracováním teorie, avšak nedočkal se odpovědi. Losev zemřel ve věku 39 let během obléhání Leningradu.

Vývoj novodobých LED odstartoval až v roce 1962, kdy Nick Holonyak představil červenou diodu založenou na galium-arsenidu. Holonyak si uvědomoval, že pokud se mu podaří realizovat červenou diodu, ostatní barvy budou již jen otázkou

času. To se potvrdilo, když Honolyakův student George Craford sestrojil žlutou diodu. První komerčně vyráběné modré diody byly uvedeny na trh až v roce 1989 společností Cree Inc., která se zaměřila na vývoj modrých LED na bázi silikon-karbidu (SiC). Ultrafialové diody jsou k dispozici také až v poslední době.

Současný vývoj se zaměřuje zejména na zvyšování účinnosti LED, v roce 2009 společnost CREE dosahovala světelného toku 105lm/W.

2.2.2. Výhody LED

Shrnutí výhody LED je obtížné, protože záleží na konkrétní aplikaci a na tom s čím jsou LED srovnávány. Výhody tedy shrneme na konkrétních příkladech použití.

2.2.3. Příklady použití

2.2.3.1. Stavová indikace

Indikovat stavy přístrojů pomocí LED je velmi výhodné zejména proto, že spotřeba LED je velmi nízká. Indikační LED se tedy nezahřívají a není tedy potřeba řešit jejich teplotu na povrchu přístroje. Maximální teplota na povrchu přístroje je zpravidla limitována podle příslušných norem a klasická žárovka tuto teplotu velmi snadno překročí i v případě, že je velmi podžhavená. Tento problém je jednoduše řešitelný použitím doutnavky – na její funkci je však potřeba napětí kolem 100V a její ovládání z dnes všudypřítomného procesoru by bylo drahé a obtížné. LED se dnes vyrábí také v provedení SMD – tedy pro povrchovou montáž, což je vlastnost, které jiné zdroje světla mohou jen stěží konkurovat. Spolehlivost indikace s LED závisí zejména na správném návrhu. U indikátorů zpravidla není důležitá velká svítivost, v některých případech může dokonce působit rušivě a být na obtíž, proto je možné LED používat s malým proudem, který prodlouží životnost na statisíce hodin. Nalezení LED ve 30 let starém zařízení, která stále svítí a plní tak svoji funkci, rozhodně není výjimkou. Další obrovskou výhodou je možnost vybírat z velmi široké škály barev nebo dokonce použití vícebarevné LED, na které je možné barvu měnit, z jednoho zdroje světla tak lze velmi snadno indikovat více stavů pomocí změny barvy.

2.2.3.2. Komunikace a optické oddělení

Protože odezva LED na změnu v napájení je velmi rychlá, je možné použít LED ke komunikaci mezi přístroji, ať už se jedná o dálkový ovladač k televizi, nebo IR port osobního počítače. Pro větší datové toky se používají laser diody, které budí optické vlákno. Výhody komunikace pomocí optiky jsou značné, od galvanického oddělení, přes eliminaci vyzařování do vzduchu, až po praktickou nezarušitelnost přenosu.

Komunikace pomocí optického oddělení je velmi často realizovaná v rámci jednoho pouzdra – optočlenu. Tato součástka efektivně pomáhá oddělit dvě místa s rozdílným potenciálem a to až do řádu kV. To umožňuje použití slabého řídicího signálu vedeného často přímo z procesoru do budící LED diody a řízení výkonové součástky přímo v primárním síťovém obvodu. Dříve se k tomu samému účelu používaly například klasické žárovky, které svítily do trubičky, na jejímž konci byl fotorezistor. Takovéto konstrukce však vyžadovaly složité mechanické řešení, kvůli použití žárovek nebyly spolehlivé a náhodné vniknutí světla do systému mohlo způsobit značné problémy.

Galvanickému oddělení komunikace pomocí LED konkuruje systém pracující na bázi galvanicky oddělených induktorů integrovaných na čipu reprezentovaných například čipem ADUM2401 [6], který má dokonce lepší parametry než běžné oddělení pomocí optočlenů, na rozdíl od něj však nabízí pouze přenos digitálního signálu.

2.2.3.3. Zobrazovací systémy

Nízká spotřeba LED a vysoká účinnost umožňuje jejich použití v zobrazovacích systémech, jako jsou například pouliční reklamy, dopravní značení anebo LED displeje. Jejich použití je jednodušší a variabilnější než použití žárovek.

2.2.3.4. Osvětlení

Použití LED v osvětlení je možné až v poslední době, kdy světelné výkony stoupají a začínají být srovnatelné s běžnými typy osvětlení. Náskok, který mají konvenční typy osvětlení nad LED, je pomalu mazán, protože v konvenčních typech

osvětlení je již pouze malý prostor pro zlepšování parametrů, a každé takové zlepšení bývá již na úkor ceny. Protože je technologie LED stále mladá, lze očekávat zlepšování parametrů bez výraznějších vlivů na cenu.

Problém s použitím LED v osvětlení interiérů, coby náhrady žárovek a zářivek, je zejména v tom, že produkované světlo má diskrétní čárové spektrum, proto je potřeba pro osvětlení používat LED diody, které jsou schopné generovat bílé světlo, tedy světlo které se skládá z více barev. Způsobů používaných za tímto účelem je v dnešní době několik. Způsob, který se nabízí jako první, je smíchání barev červené, modré a zelené, tedy již zmiňované RGB, jejichž smíchání vytváří bílou barvu. Takto vytvořená bílá barva ale působí velmi nepřírodně a ovlivňuje zejména správné vnímání barev lidským okem. K lepšímu vnímání bílé barvy napomáhá použití většího množství barev, to může dodat bílé barvě přirozenější odstín. Protože se ale zdroj světla nenachází v jednom bodě, a je rozdělen do několika částí, kde jsou jednotlivé čipy LED vytvářející červenou, zelenou a modrou barvu, může v extrémním případě dojít k nerovnoměrnému osvětlení a k zobrazení jednotlivých barev, které tvoří barvu bílou. Tento způsob vytváření bílé barvy tedy není příliš vhodný pro vytváření přirozeného světla.

Pro vytvoření vhodnějšího osvětlení se pro bílé LED začala používat technologie široce používaná v osvětlení zářivkami - fluorescence. Světlo vyšší vlnové délky je na materiálu založeném na fosforu přeměněno na světlo s nižší vlnovou délkou. Na rozdíl od zářivek, kde se používá ultrafialové světlo, se v LED technologiích používají spíše modré LED – zejména kvůli jejich dřívějšímu vývoji a nižší ceně. Protože je toto řešení levnější, než vývoj komplexního systému založeném na RGB LED, je nejvíce používaný u vysoce svítivých LED. Výhoda takto realizovaného osvětlení oproti klasické žárovce je vyšší účinnost a tím nižší spotřeba elektrické energie. Vývoj LED svítidel je však stále v počátcích a LED svítidla jsou v porovnání s jinými způsoby osvětlení drahé.

2.2.3.5. Osvětlení v zábavním průmyslu

Použití LED při osvětlování kulturních akcí je trend poslední doby. Zvyšování svítivosti LED umožňuje přímou náhradu vysoce výkonných světelných efektů používajících

halogenové žárovky nebo výbojky. Výhodou těchto náhrad je snížení příkonu při zachování svítivosti. To může být výhoda zejména při realizování osvětlení v místech, kde jsou síťové rozvody jištěny na příliš malý proud. Pro srovnání příkonu klasické jevištní lampy PAR64 je 1000W, příkon LED lampy společnosti Eurolite LED PAR-64 je pouhých 32W [7].

LED svítidla jsou často realizována pomocí tříbarevných RGB LED, nebo kombinací jednotlivých barev. Proto je možné pomocí jednoho svítidla střídat rychle barvy bez nutnosti vyměňovat barevné filtry. Nastavením různé intenzity jednotlivých barev je možné pomocí DMX protokolu nastavit teoreticky až dvě na dvacátoučtvrtou barev. Filtr v klasickém světle funguje na principu pohlcení nebo odražení části vyzařeného světla, to způsobuje další snížení účinnosti světelného zdroje, i tady je tedy LED světlo ve výhodě.

LED mají také nižší hmotnost než klasické zdroje světla, což ulehčuje konstrukci pohyblivých světel. Navíc LED je možné realizovat přímo s optikou, čímž jsou nahrazeny těžké a drahé čočky používané v bodových světlech.

Dekoratивní osvětlení pomocí LED přineslo také značné výhody. Osvětlování pomocí světelných pásů realizovaných pomocí sériově spojených žárovek mělo značné nevýhody spojené s nízkou trvanlivostí žárovek. Prasknutí jedné žárovky zpravidla vždy vyřadilo dlouhou část pásu a vyžádalo si výměnu celého pásu. Protože k žárovkám je potřeba kvůli vyššímu proudu přivést silnější vodič, a protože celý pás je vhodné mít kompletně uzavřený od okolí, jsou žárovkové pásy uzavřeny v silné bužírce, ta kvůli svým rozměrům omezuje použití pouze na místa, která byla na žárovkový pás předem připravena, nebo na místa kde je dostatek prostoru a nehrozí tepelné poškození od pásu. LED pásy mají menší rozměry, existují i samolepící pásy, které mají výšku i nižší než 1mm. Takovouto pásku není problém umístit téměř kamkoliv. Napájení je zpravidla realizováno 12V napájecím zdrojem, takže jsou v pásku sériově zařazeny vždy pouze 3 LED. Pokud se stane, že jedna LED selže, mezera v pásku nemusí být tedy snadno rozeznatelná. Pravděpodobnost, že selže LED dioda, je však nižší než u žárovky, zejména při odpovídajícím napájení.

2.2.4. Fungování LED, elektrické vlastnosti

LED je v podstatě obyčejná PN dioda, používaná v propustném směru. Ke světelné emisi pak dochází v okamžiku, kdy elektron rekombinuje s dírou. Vlnová délka vyzářeného světla je dána šířkou zakázaného pásu daného PN přechodu podle rovnice

$$\lambda = h \times \frac{C}{E_g}$$

Pro získání vlnové délky je tedy zapotřebí využití materiálu s šířkou zakázaného pásu cca 1,6 – 3,2 eV.

Elektrické vlastnosti LED jsou opět podobné jako vlastnosti PN diod. Větší energie zakázaného pásu má za důsledek větší prahové napětí. Závěrná blokovácí napětí diod jsou velmi nízká, což je způsobeno velmi vysokou dotací příměsí. Vysoké dotování se používá ke zvětšení počtu elektronů a děr a tím pádem k zvýšení počtu rekombinací. Protože počet rekombinací je závislý na protékajícím proudu je možné řídit svit LED také regulací proudu.

2.2.5. Regulace svitu LED

V různých aplikacích je potřeba měnit intenzitu svitu LED, způsobů jak změny intenzity dosáhnout je několik.

Způsob zmíněný v předchozím odstavci používá změny proudu LED diodou, jak již bylo zmíněno, snížený počet rekombinací sníží intenzitu vyzářeného světla. Regulaci proudu diodou lze realizovat několika způsoby. Nejjednodušším způsobem je zařazení potenciometru před diodu. Nastavením odporu se pak reguluje proud diodou. Toto řešení však není vhodné, pokud je vyžadována dálková regulace intenzity osvětlení.

Další obdobný způsob regulace je vřazení předřadného rezistoru před diodu a regulace napájecího napětí této sériové kombinace. Proud diodou tedy bude řízen napětím na předřadném rezistoru, přičemž s rostoucím odporem rezistoru poroste

možný rozptyl napájecího napětí. Větší hodnoty rezistorů ale znamenají přidané tepelné ztráty spojené s průchodem proudu odporem a tím snížení účinnosti celého řešení, nízké hodnoty odporu pak značně snižují rozsah nastavitelných napětí, což může být problém při potřebě nastavovat proud v mnoha krocích.

Předchozí řešení lze modifikovat a použít například pouze jeden odpor na několik sériově zařazených diod, což je typické řešení používané v LED páscích, kde jsou zařazeny tři LED v sérii s jedním odporem. Jmenovité napájecí napětí je pak 12V, možnou regulaci lze odhadovat od 8V. Bohužel u jednotlivých pásů nikdy neexistuje jistota, že prahové napětí LED bude stejné a může tak snadno dojít k potřebě změnit rozsah řízeného napětí.

Pokud chceme předejít těmto problémům, je nutné řídit přímo proud diodou. V těchto řešeních se předřadný odpor používá spíše jako snímací odpor proudu. Napětí z tohoto odporu pak může být použito ve zpětnovazební smyčce nastavující proud. Výhody tohoto řešení jsou značné, ať už se jedná o lineární průběh charakteristiky intenzity vyzářeného světla v závislosti na proudu, nebo o regulaci z nuly, kdy nulový proud zaručuje nulovou intenzitu. Předřadný odpor použitý v tomto řešení může mít malou hodnotu, protože již není použit jako regulační prvek. Protože zapojení proudových zdrojů existuje široká škála, omezíme se pouze na základní rozdělení na lineární zdroje, které využívají k regulaci proudu sériově zapojený tranzistor (bez ohledu na způsob řízení, nebo na to zda je integrován na čipu složitějšího IO) a na zdroje pulzní, které na rozdíl od lineárních zdrojů regulují výstupní proud nespojitě. Nevýhodou lineárního řešení jsou ztráty na sériovém regulačním členu, které jsou značně závislé na napájecím napětí, nevýhoda pulzního řešení spočívá ve větší komplexnosti návrhu, i když v tomto směru došlo v poslední době ke značnému pokroku v oblasti integrovaných řešení pulzních zdrojů. Značnou výhodou pulzních zdrojů však je vyšší účinnost, protože ztráty souvisí pouze se samotnou funkcí zdroje.

Ideálním řešením pro regulaci svitu diod se tedy může zdát řešení s pulzním regulátorem proudu, díky nedokonalosti lidského oka však existuje řešení další a jednodušší. Oko vnímá blikání s frekvencí vyšší než 30Hz jako spojitý obraz. Tato nedokonalost oka může být využita i k regulaci svitu. Pokud bude LED blikat s vyšší frekvencí, než je nejvyšší vnímaná frekvence, bude subjektivní intenzita vyzářeného světla stejná jako střída budícího signálu LED (střídou rozumíme poměr doby zapnutí

LED proti délce periody). Princip je v podstatě shodný s principem pulzního zdroje řízeného pulzně-šířkovou modulací, pouze je vynechána část s akumulací tlumivkou, rekuperační diodou a výstupním kondenzátorem – spínaný signál z tranzistoru je přiveden rovnou na LED. Samozřejmě že i v tomto případě je nutné limitovat proud LED pomocí sériového rezistoru, ten však již může být optimalizován na jedno konstantní napájecí napětí, což je přesně příklad již zmíněného LED pásku.

Jak již bylo zmíněno, frekvence, které lidské oko vyhodnocuje jako spojité, se pohybují již v desítkách Hz, v praxi se však používají frekvence vyšší. Důvodem je, že i když lidské oko nevnímá blikání přímo, může ho vidět například při pohybu svítících LED, nebo pohybu osvětlovaných předmětů. Další problém s nízkou frekvencí je při pořizování video záznamu, kdy vzorkovací frekvence snímače obrazu může interferovat s frekvencí blikajících LED. Hodnoty v řádech desítek kHz se zdají být optimální pro regulaci svitu, protože při těchto frekvencích stále lze dosáhnout velkého rozlišení střídy a spínací ztráty spínače udržet v rozumných mezích.

Určitý problém se stmíváním může nastat u bílých LED, které používají ke generování světla fluorescence. Materiály založené na fosforu, které se na bílé LED používají, mají totiž dosvit – tedy určitou dobu po kterou svítí, i když již nejsou buzeny. Důsledkem je, že i když je fluorescenční materiál vybuzen pouze velmi krátkým pulzem, jeho dosvit je mnohem delší. Proto může být problém tímto způsobem docílit malých intenzit. V případě použití bílých RGB diod tento problém díky absenci fluorescenčních vrstev odpadá.

Dalším problémem, který může u tohoto způsobu nastat je délka rozváděných vedení do LED. Takové vedení má totiž svou indukčnost ale také kapacitu, která se při buzení stejnosměrným proudem neprojevuje, při buzení obdélníkovým signálem s vysokou frekvencí však již může mít značný vliv. Dále je potřeba nezapomenout na rušení, které takovéto vedení může způsobit v okolních zařízeních. Toto řešení je tedy omezené pouze na krátké rozvody.

3. Návrh D/A převodníku z DMX 512 na PWM pro LED RGB pásy.

Pro návržení digitálně/analogového převodníku je potřeba si ujasnit jaké vstupy a jaké výstupy přesně od výsledného převodníku bude potřeba. Pokud by se jednalo o nějaký jednoduchý jednokanálový přepínač, dalo by se asi ještě uvažovat o převodu DMX signálu na TTL logiku a poté s ní pracovat pomocí jednoúčelových logických obvodů, ovšem pro složitější převodník s více výstupy, jako v tomto případě již tato možnost zcela padá.

V praxi, stejně jako v tomto projektu, se nejčastěji používá jednočipových mikroprocesorů. Vstupem je DMX signál, převedený na TTL logiku, se kterou nadále zpracovává procesor a pomocí programu na svých výstupech pak generuje PWM signál, který ovládá vhodné regulátory spínající napájecí napětí pro LED pásy.

3.1. PWM modulace

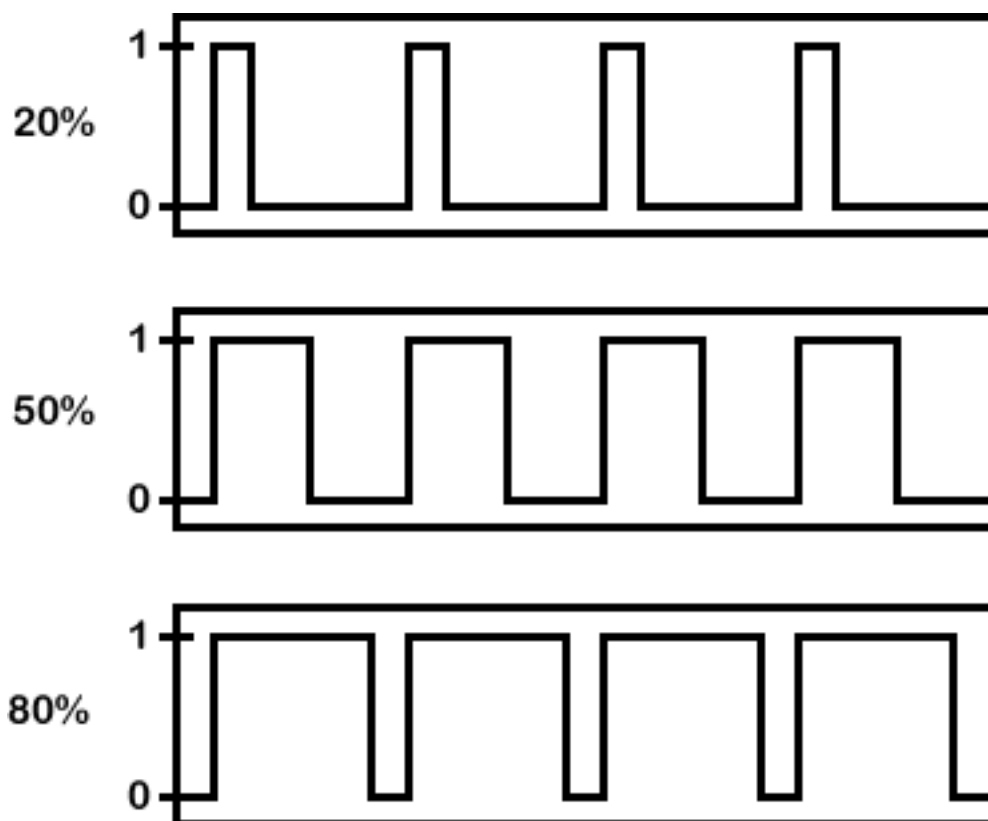
Jak již bylo řečeno, nejvhodnějším způsobem jak řídit svítivost a jas LED diod, které jsou v LED RGB páscích, je pulzně-šířková modulace, neboli PWM (Pulse Width Modulation).

PWM je modulace při níž analogový signál nabývá dvouhodnotového stavu. Obecně vzato, tento signál může být různý, například napětí, proud, světelný tok. Pro řízení LED bude samozřejmě potřeba napěťová regulace, proto bude-li v této práci hovořeno o PWM, je tím myšlena napěťová modulace.

3.1.1. Princip PWM

Signál při pulzně-šířkové modulaci nabývá hodnot 1 nebo 0, neboli vypnuto/zapnuto a jeho hodnota je určena pomocí střídy. Střída je poměr mezi hodnotovými stavy vypnuto a zapnuto. Jeden cyklus, kdy signál přejde z vypnuté do zapnuté hodnoty se nazývá periodou. Střída je nositelem signálu a určuje výkon modulace. Výkon v praxi ale také záleží na počtu opakování period za sekundu – neboli

frekvencí modulace, která záleží na vlastnostech daného regulovaného prvku, například pro motory jsou to řádově jednotky Hz, pro LED řádově kHz. Na **obrázku 3** jsou zobrazeny tři průběhy signálu se různou střídou, pro 20, 50 a 80 % výkonu.



Obrázek 3.1: Průběhy PWM modulace s různou střídou

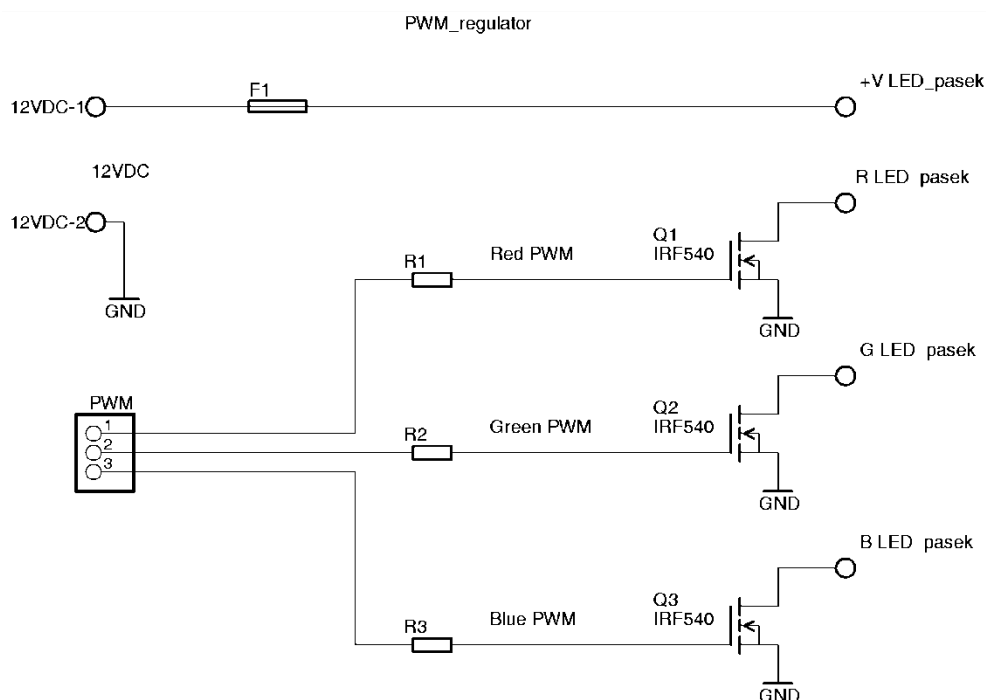
3.1.2. PWM regulátor pro LED pásy

O vlastní generování PWM signálu se stará mikroprocesor, takže regulátor pro LED pásy je v principu jen spínač napájecího napětí pro jednotlivé kanály LED pásku, řízený výstupními pulzy z procesoru.

Hlavním požadavkem na tento regulátor je co nejvěrnější kopírování modulace, tedy co nejrychlejší přechod do sepnutého stavu. Jak již bylo řečeno, pulzní modulace pro LED je řádech v kHz, takže nelze uvažovat o mechanickém spínání v podobě například relé a je proto potřeba vybrat vhodný elektrický spínací prvek. Ke správnému výběru je potřeba znát další požadavky na regulátor, kterými jsou co nejnižší vnitřní

odpor regulátoru v sepnutém stavu, z důvodu co nejnižších elektrických a hlavně tepelných ztrát a neposledním požadavkem je ekonomická únosnost realizace.

Tranzistorové spínání vyhoví všem požadavkům, nejvýhodnější jsou pak tranzistory řízené polem – MOSFET tranzistory. Na **následujícím obrázku** je vidět celé zapojení regulátoru.

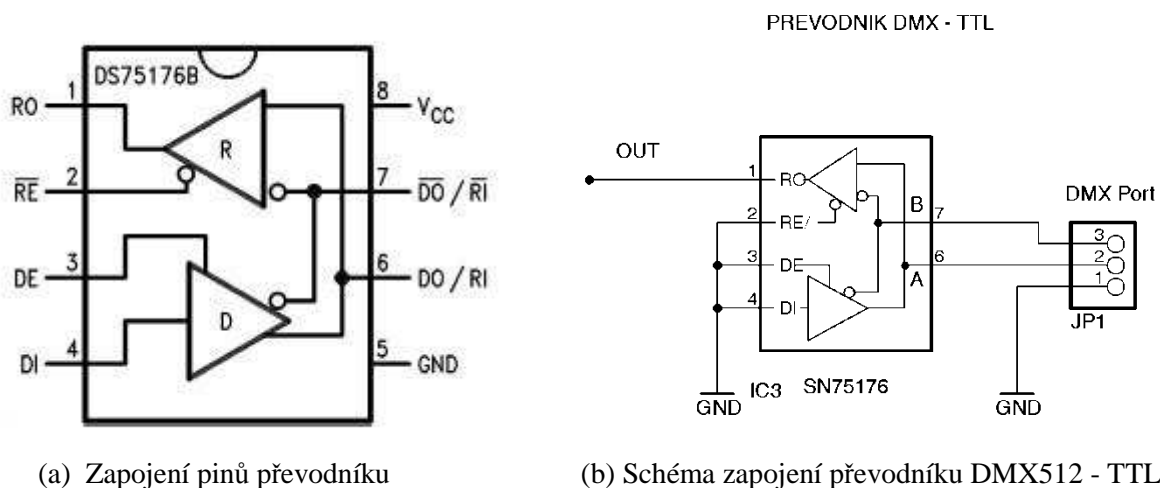


Obrázek 3.2: Schéma zapojení výkonové části PWM regulátoru

3.2. Převodník DMX512 – TTL

Vstupní obvody jednočipových procesorů jsou připraveny pro takzvanou TTL logiku (Transistor-Transistor Logic), což je standardizovaná dvouhodnotová logika, kde napětí zhruba 0V reprezentuje logickou nulu a napětí přibližně 5V logickou jedničku. Pro převod mezi úrovněmi TTL a EIA485 je dostupných několik komerčně vyráběných obvodů. Jako jeden z prvních byl vyráběn velmi známý obvod MAX485 od firmy Maxim Integrated Products, v tomto zapojení je ale použit dostupný a ekonomicky výhodný obvod od firmy Texas Instruments SN75176, což je jednočipový vysokorychlostní budič/převodník pro sběrnice RS485, vyráběný v provedení DIP8

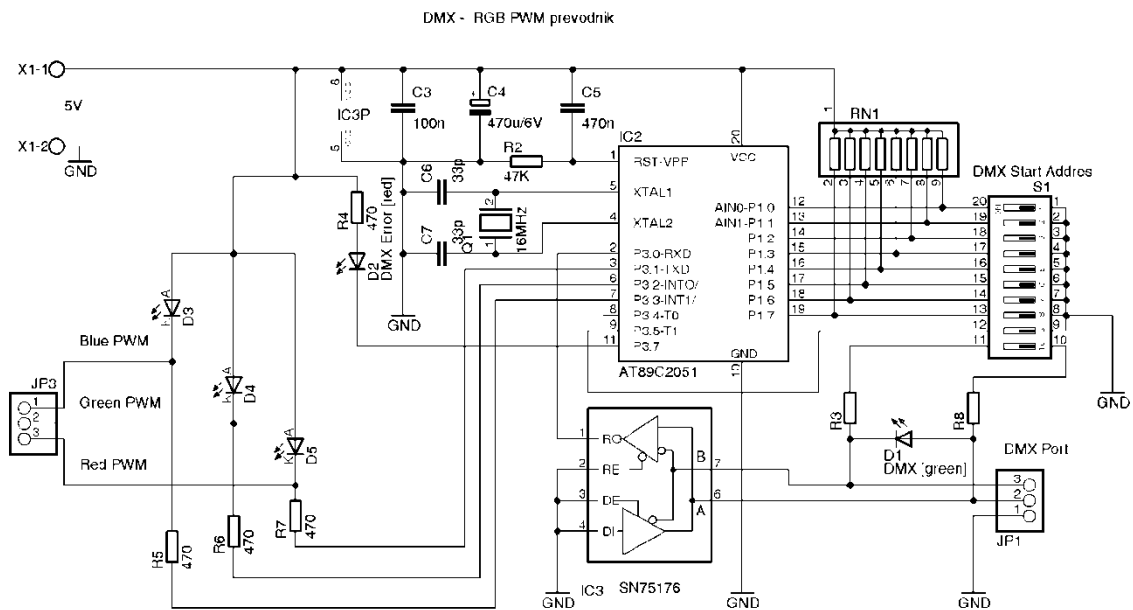
nebo SIP8 [8]. Popis jeho jednotlivých pinů je na **obrázku 5a**, schéma zapojení převodníku je na **obrázku 5b**.



Obrázek 3.3: převodník SN 75176

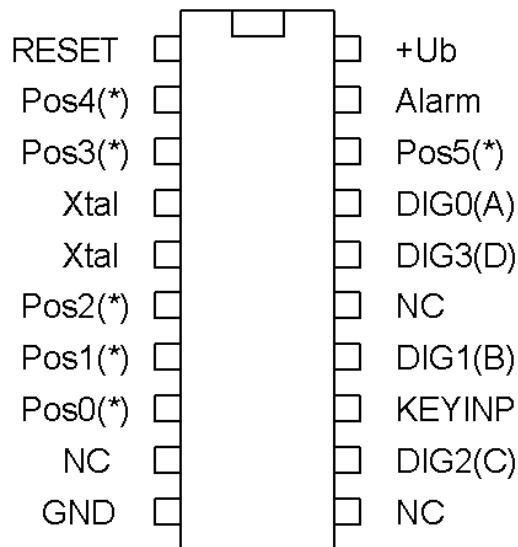
3.3. Zapojení převodníku DMX512 – PWM

Jak je z obrázku 6 patrné, hlavní součástí celého zapojení je jednočipový mikroprocesor firmy ATMEL s typovým označením AT89C2051. Jedná se o nízkonapěťový CMOS 8-bitový mikro počítač s 2KBytovou programovatelnou flash pamětí typu EPROM (Programmable and Erasable Read Only Memory), s 15 programovatelnými vstupy, nebo výstupy, s dvěma 16-bit integrovanými časovači/čítači a vnitřním oscilátorem [9].

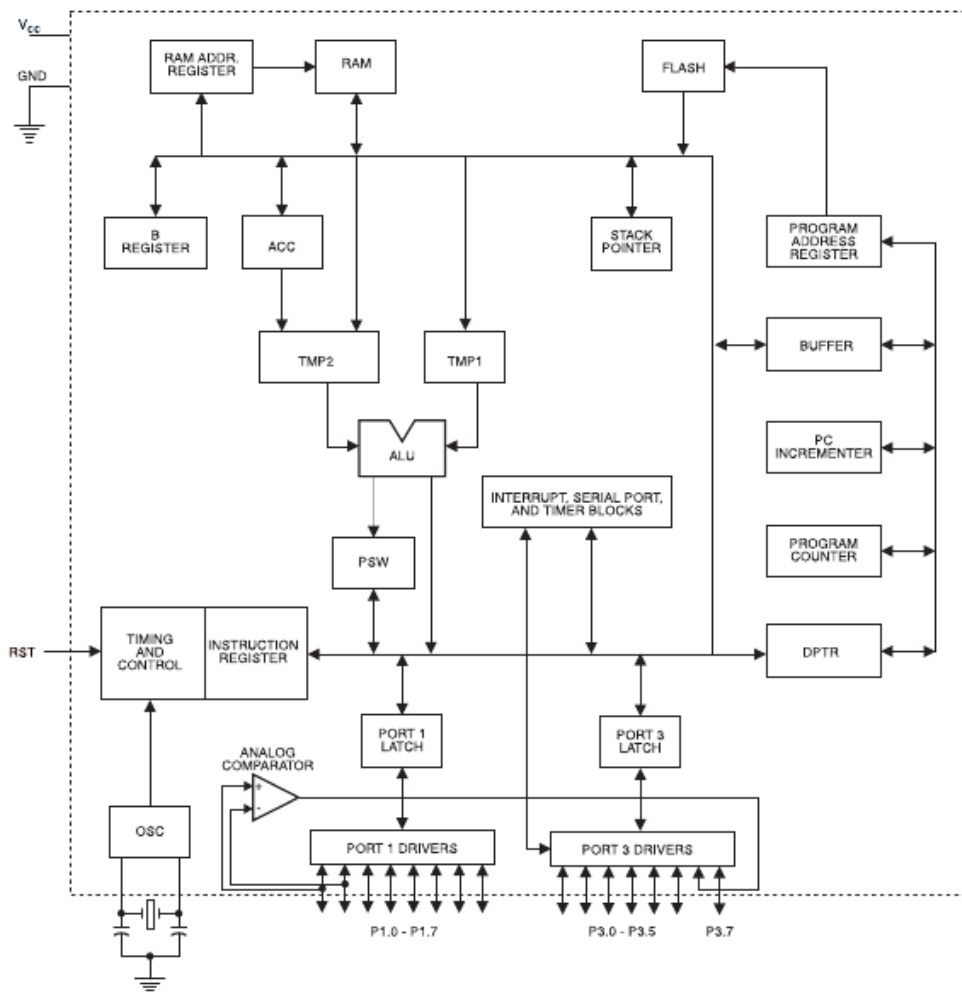


Obrázek 3.4: Zapojení převodníku DMX 512 - PWM

Mikroprocesor je plně kompatibilní se standardní průmyslovou sadou příkazů MCS-51 a je vyráběn v dvacetipinovém pouzdře DIP 20, nebo SIP 20, rozložení jeho pinů je na obrázku 3.5. Blokové schéma procesoru je patrné z **obrázku 3.6**.



Obrázek 3.5: Zapojení pinů mikroprocesoru AT89C2051



Obrázek 3.6: Blokové schéma procesoru AT89C2051

Na schématu zapojení je krom periferních obvodů, které již byly popsány výše, vidět řadový, 8-násobný DIL přepínač S1, který je připojen na vstupy procesoru P1.0 – P1.7 a nastavuje se jím počáteční DMX adresa. Nastavení se provádí binárně, první spínač má hodnotu 1, osmý hodnotu 128, kombinací přepínače tedy lze nastavit hodnotu počáteční adresy 0-255. Procesor při nastavení adresy 0 nereaguje – chová se jako nepřipojený.

Na oscilační vstupy procesoru je připojen krystal Q1, který určuje taktovací frekvenci. Dále jsou zde dvě signální LED diody D1 a D2. D1 slouží jako signalizace DMX signálu a D2 jako signalizace poruchových stavů při zpracování DMX signálu.

Poslední periferie, které jsou zde vidět je trojice sériového zapojení diody a rezistoru, které jsou zapojeny na výstupy procesoru. Při sepnutí jsou tyto výstupy připojeny na zem a na odporech R5, R6 a R7 se objevuje řídicí napětí pro regulátory,

kteřé jsou připojeny přes konektor J1, diody jsou nízkopříkonové z důvodu co nejmenšího zatížení výstupů procesoru.

3.4. Program procesoru

Celý ovládací program procesoru je uveden v přílohách v programovacím jazyce. Autor této práce není jeho tvůrcem, a proto zde budou popsány pouze jeho základní vlastnosti.

Program v první řadě vyhodnotí, zda je vstupu procesoru přítomen signál DMX 512 (resp. jeho převedená TTL hodnota) na vstupu P 3.5, pokud tomu tak není, sepne výstup P 3.5 a provede buď reset výstupních hodnot, nebo zachová nastavené hodnoty z poslední známé instrukce, pokud nějaká byla. Toto rozhodnutí program provádí na základě hodnoty na vstupu P 1.7

Při přítomnosti signálu program pokročí dál, nejprve vyhodnotí logické úrovně na vstupech P 1.0 až P 1.6 a podle nich nastaví svůj vnitřní čítač v hodnotách 1-255, podle nastavené hodnoty na přepínači S1, jak již bylo popsáno v kapitole 3.3. Čítač pak čítá MAB impulzy a při dosažení požadované hodnoty začíná vyhodnocovat vlastní DMX signál. Procesor vyhodnocuje tři po sobě jdoucí pakety, podle nichž nastavuje PWM modulaci na výstupech P 3.1 až P 3.3. Datový paket, jak už bylo řečeno, obsahuje osm datových bitů a může tedy být vyhodnocen jako číslo 0-255, které je použito pro nastavení hodnoty komparátoru. Tento komparátor porovnává svou hodnotu s hodnotou dalšího vnitřního čítače. Pokud je hodnota menší, nebo rovna, je sepnut příslušný výstup procesoru (P3.1 – P3.3). Vnitřní čítač čítá impulzy vnitřního oscilátoru, jehož frekvence je nastavena pomocí krystalu Q1 a to od 0-255.

Program dále řeší další záležitosti, jako ochranu proti zatoulání programu a podobně, pro účely této práce ale vyhoví tento stručný popis.

4. Návrh realizace

Při návrhu plošných spojů a vlastního konstrukčního řešení je potřeba vycházet z konkrétních požadavků na aplikaci, jako například velikosti výstupních proudů, které určují velikost spojů na DPS, ztrátových výkonech na aktivních prvcích, které určují velikost chladiče, možnost pasivního/aktivního chlazení, prostředí ve kterém bude zařízení pracovat a v neposlední řadě vzhled a funkčnost.

V tomto případě bylo úkolem vytvořit řízení pro RGB pásy do klubu, resp. diskotéky, s následujícími požadavky:

- Vstup pro připojení ovládacího pultu s protokolem DMX512
- Pět nezávislých výstupů pro RGB pásy
- Připojení až 20m LED RGB pásku/ kanál
- Minimum nastavujících prvků
- Odolné vůči mechanickému poškození
- Snadná ovladatelnost
- Pasivní chlazení
- Odolné vůči prostředí – umístění v hudebním klubu
- Vlastní integrované napájení
- Modulové řešení pro případné rozšíření výstupů

Pro tuto aplikaci byl vybrán LED RGB pásek firmy T-led, s parametrem 5A/5m [10]. Pro splnění podmínky 20m/kanál tedy vyplývá, že každý kanál musí vyhovět zátěži 20A.

Z důvodu požadavku modulové konstrukce jsou jednotlivé klíčové části zapojení realizovány na několika deskách plošných spojů.

4.1. Zdroj

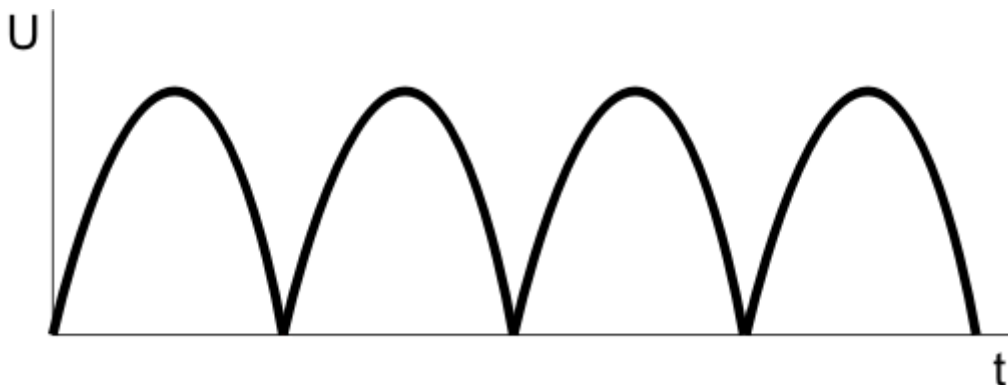
Navržení zdroje, které se zdálo být jednoduchým problémem, se v této konkrétní aplikaci ukázalo jako nejsložitějším z celé realizace projektu. Požadavkem zadavatele byl vlastní integrovaný zdroj a vzhledem k tomu, že LED pásy byly instalovány i jako náhrada za 12V halogenová svítidla, bylo z ekonomických důvodů rozhodnuto o využití již nepotřebných transformátorů pro zmíněná svítidla, jako základní součásti napájecího zdroje. Jejich parametry jsou:

- Primární napětí 230VAC
- Příkon 250VA
- Sekundární napětí 11,5VAC
- Maximální trvalý výstupní proud 21,73A

Jeden tento transformátor tedy vyhoví jako základ zdroje pouze pro jeden kanál. Střídavé napětí z transformátoru je nejprve potřeba usměrnit. Použit byl integrovaný diodový můstek s maximálním výstupním proudem 35A, který při daném proudovém zatížení vyžaduje instalaci na chladič. Ztrátové napětí na usměrňovači je dle katalogového listu cca 1,4V [10]. Ztrátový výkon je určen maximálním odebíraným proudem a rozdílem napájecího a výstupního napětí tedy:

$$P = I_{\max}(U_{\text{in}} - U_{\text{out}}), \quad (4.1)$$

Po dosazení do rovnice dostáváme $P = 28W$. Tento údaj je důležitý pro výpočet celkové plochy chladiče, který bude popsán později. Usměrněné napětí má nicméně stále nelineární průběh, jak je vidět na **obrázku 4.1**, pouhé vyhlazení pomocí kondenzátoru není v tomto případě vhodné, protože sekundární napětí je závislé na primárním napětí i na velikosti odebíraného proudu v důsledku vlastností transformátoru, nemělo by tedy stabilní hodnotu, navíc kondenzátory s dostatečnou kapacitou a proudovou rezervou by byly dosti rozměrné a při nabíjení by neúměrně zatěžovaly transformátor.



Obrázek 4.1: Usměrněné napětí pomocí Graetzova můstku

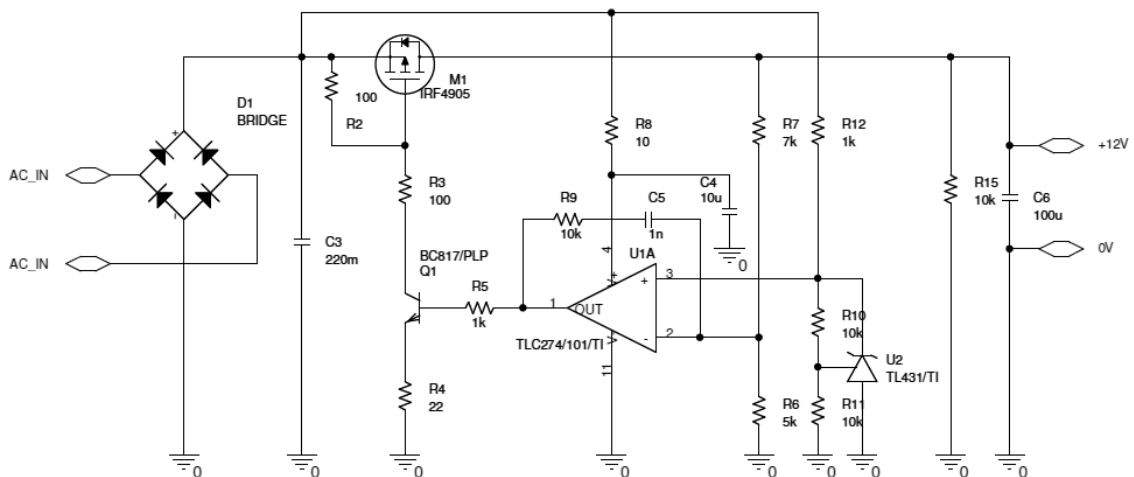
V neposlední řadě již zmíněné kolísání napětí může mít fatální následky pro LED pásky, jak již bylo popsáno v principech fungování LED v kapitole 2.2.4. Výstupní napětí po usměrnění také není 12V, ale podle vzorce $U = \sqrt{2} \times 12 - 2U_d$, kde U_d je úbytek napětí na diodě stabilizátoru, přibližně 15V, což by vyžadovalo omezovací odpory, které by měly při odběru 20A velké tepelné ztráty, navíc problém nestabilního napětí stále neřeší. Je tedy nutno použít lineární stabilizátor napětí. Původně bylo zamýšleno o použití klasického stabilizátoru řady 78XX, posíleného pro vyšší výstupní proudy výkonovým tranzistorem, dle doporučeného zapojení z katalogového listu.[11]

Jelikož ale regulované napětí není o mnoho vyšší než požadované stabilizované napětí, nebylo možné toto zapojení použít z důvodů velkého úbytku napětí na stabilizátoru, ale i na samotném posilovacím tranzistoru. Saturační napětí tranzistoru by bylo patrně ještě vyšší kvůli nutnosti použít darlingtonovo zapojení, protože zesílení bipolárních tranzistorů pro proudy nad 10A je značně malé.

Z výše zmíněných důvodů je potřeba použít řešení, které bude schopné pracovat s úbytkem na regulačním prvku maximálně 1V, při plném pracovním proudu 20A. Takový úbytek je s bipolárním tranzistorem obtížné dosáhnout, s moderními tranzistory MOSFET to však již možné je. Pro realizaci je potřeba zvolit tranzistor, jehož odpor kanálu je v sepnutém stavu $R_{ds} = U/I_{max}$, kde U je maximální úbytek napětí na tranzistoru a I_{max} maximální pracovní proud. Pokud do rovnice dosadíme, zjistíme maximální hodnotu odporu $0,05\Omega$. Tato hodnota musí být u tranzistoru zaručena v plném rozsahu pracovních parametrů, zejména však při maximální pracovní teplotě a proudu, kdy je odpor kanálu největší.

Pro realizaci s tranzistorem MOSFET bylo zvoleno standardní zapojení napěťového zdroje s operačním zesilovačem a samostatnou referencí. Velké pracovní proudy do gate jsou nutné, protože výkonové MOSFETy mají velké gate-source kapacity, použité odpory pak musí být malé, aby bylo možné tuto kapacitu dostatečně rychle nabíjet a vybíjet. Tím je zachována schopnost rychlé odezvy a tím lepší regulace výstupního napětí. Pro větší možný proud do gate tranzistoru je použit bipolární tranzistor NPN.

Zapojení obvodu je možné vidět na **obrázku 4.2**, jako reference je použit obvod TL431 ve standardním katalogovém zapojení. Odpory R6 a R7 nastavují požadované výstupní napětí podle rovnice $U_{out} = U_{ref} (1 + R7/R6)$. Gateové odpory 100R dávají časovou konstantu OZ. Ve vstupním usměrňovači je vhodné použít diody s velmi malým úbytkem, aby bylo možné regulovat výstupní napětí a nedocházelo k saturaci regulačního tranzistoru. Pro snížení zvlnění, zlepšení účinnku a omezení proudových rážů by bylo vhodné zařadit před filtrační kondenzátor i filtrační tlumivku. Výstupní kondenzátor je použit k omezení zvlnění výstupního napětí při impulzním zatěžování.

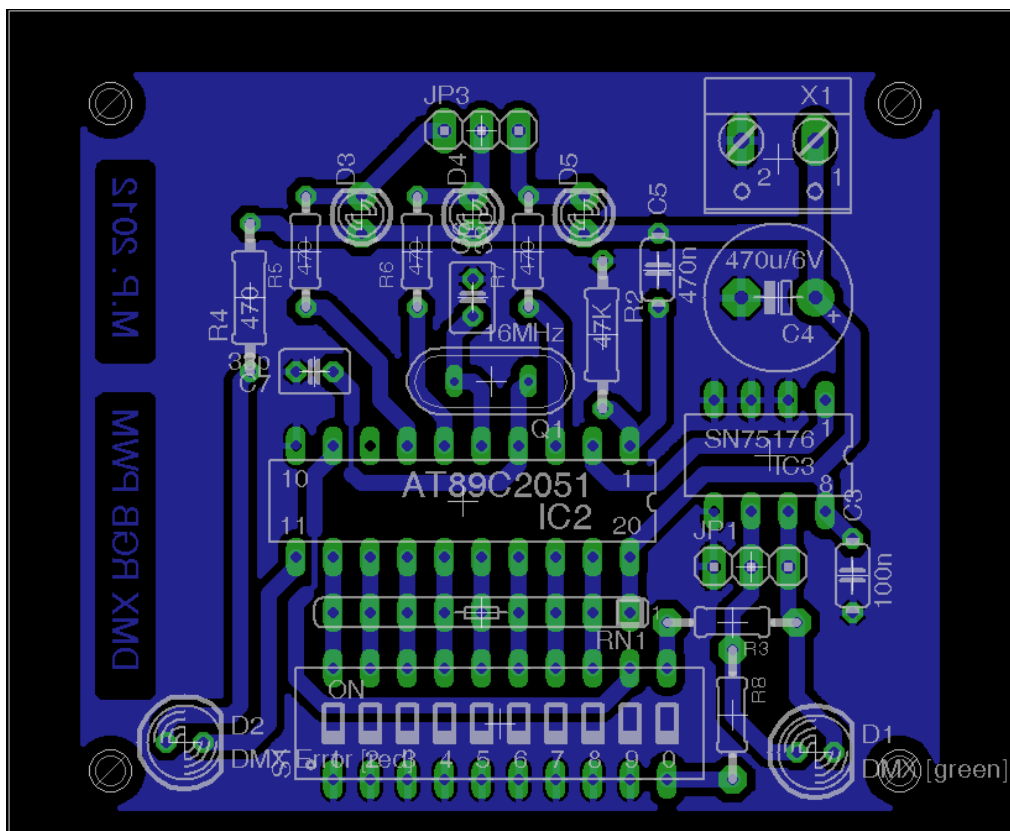


Obrázek 4.2: Zapojení stabilizátoru

Výkonová ztráta regulačního tranzistoru je opět důležitá pro výpočet chladiče a je dána rovnicí 4.1. Ač vlastní výpočet bude popsán později, při vlastním návrhu tohoto regulátoru byl samozřejmě proveden v této fázi, aby se potvrdila správnost návrhu, zda lze s tímto druhem tranzistoru realizovat, popřípadě jestli nebude nutné použít jiné řešení – například tranzistoru s větším pouzdem, či více tranzistorů v paralelním zapojení.

4.2. Řídicí část

Schéma řídicí části již bylo popsáno v kapitole 3.3, dle schématu byla vytvořena deska plošných spojů - **obrázek 4.3**, vzhledem k jednoduchosti zapojení, kde kromě procesoru je jen několik periferních součástek, je deska realizována jako jednostranná. Takzvaná rozlitá měď zde slouží jako zemnicí vodič – GND, i jako stínění proti zanášení rušení a to jak ze zdroje, tak z výstupních regulátorů.



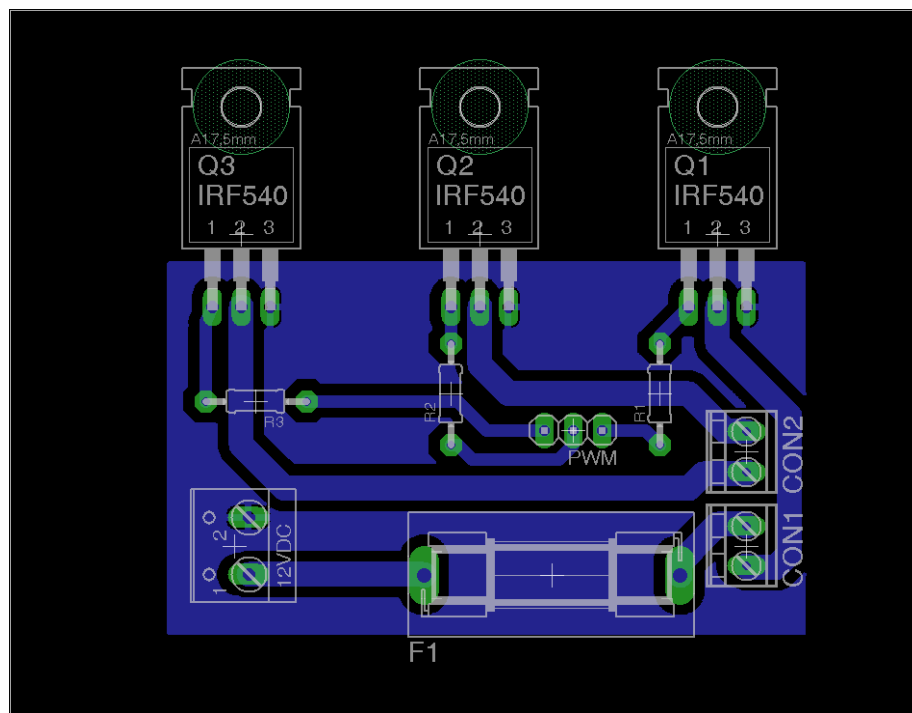
Obrázek 4.3: Deska plošných spojů řídicí části

Propojení řídicí části a regulátoru by mělo být co nejkratší a v této konkrétní realizaci bylo použito stíněných vodičů, neboť bylo použito několika modulů v jedné konstrukci a řízení je realizováno napěťovými impulzy, na vedení by se tedy snadno mohlo objevit rušení z regulátorů ostatních modulů.

DMX signál je přiváděn stíněnou kroucenou dvoulinkou z dvojice XLR konektorů na konektor JP1. XLR konektory nejsou umístěny na desce z důvodu modularity (jeden vstupní XLR konektor stačí pro všechny řídicí moduly v zařízení) a také z důvodu mechanické odolnosti a spolehlivosti.

4.3. Regulátory

Regulátory byly již také popsány v kapitole (3.1.2), jsou to v podstatě jen spínací jednotky, jejich vlastní konstrukční řešení je na **obrázku 4.4**. Zvláštní pozornost bylo potřeba věnovat výběru vhodných tranzistorů, kde požadavkem byl co nejmenší průchozí odpor v sepnutém stavu, kvůli tepelným ztrátám, dostatečná proudová zatížitelnost a v neposlední řadě také pořizovací náklady.



Obrázek 4.4: Spínací jednotka regulátorů

Vybrané tranzistory MOSFET IRFZ44 mají podle katalogového listu výrobce odpor sepnutého kanálu $R_{ds} = 0.028\Omega$ [12], již uvedeným vzorcem (4.1) tedy vypočteme maximální ztrátový výkon, který je 1.25W (při uvažovaném maximálním výstupním proudu $I_{max} = 6,7A$). Jak již bylo řečeno, výpočet chladiče pro regulátory bude popsán později.

4.4. Konstrukce

Velikost konstrukční skříňky není v tomto případě limitována velikostí desek modulů, které jsou poměrně malé, ale rozměry napájecích transformátorů a také, vzhledem k požadavku na pasivní chlazení, velikostí chladiče, který bude vzhledem k velkému množství aktivních prvků, které vyžadují chlazení pravděpodobně poměrně značný.

4.4.1. Výpočet velikosti chladiče

Při výpočtech chladiče je potřeba vhodně zvolit některé základní vstupní parametry a to konkrétně okolní teplotu a míru, jakou mají být součástky zatěžovány. Dalšími požadavky, na které je nutné brát ohled, jsou například mechanické řešení chladiče, jeho požadovaná velikost, izolace jednotlivých součástí, které jsou na chladiči upevněny, způsob jakým chladič odvádí teplo do okolí a v neposlední řadě cena chladiče a jeho montáže.

Určení okolní teploty, ač se může zdát zprvu jednoduché, není triviální záležitostí. Je potřeba brát v úvahu různá hlediska, která mohou při provozování zařízení nastat. Není výjimkou, že uživatel omylem zakryje větrací otvory nebo samotný chladič a zamezí tak cirkulaci vzduchu a tím způsobí přehřátí chlazených komponent. Další přehřátí může u zařízení snadno nastat, pokud bude vystaveno slunečnímu záření. Podobných případů můžeme nalézt více, a proto není v žádném případě vhodné volit teplotu okolí pod $40^{\circ}C$, lépe však $50^{\circ}C$, v extrémních případech za předpokladu nevlídných pracovních podmínek i $60^{\circ}C$.

V okamžiku, kdy je známa okolní teplota, je potřeba určit ztrátový výkon, který je potřeba chladičem vyzářit do okolí, maximální teplota chlazené součástky a její tepelný

odpor z místa ve kterém teplo vzniká (typicky se jedná o přechod tranzistoru, může však být řeč i o nepolovodičových součástkách - například výkonových odporech) k chladiči. Tepelný odpor se udává ve °C/W a je snadno k nalezení v katalogových listech používaných součástek. Tato hodnota udává, o jakou teplotu bude jeden bod chladnější, pokud je na druhém bodě vyzářen ztrátový výkon jeden watt.

V případě, že chceme chladit jednu součástku na jednom chladiči, použijeme triviální vzoreček pro výpočet maximálního tepelného odporu:

$$R_T = \frac{\Delta T}{P}$$

kde P je ztrátový výkon, R_T celkový tepelný odpor, který je dán součtem jednotlivých sériových odporů, tedy: $R_T = R_{jc} + R_{cs} + R_s$, kde R_{jc} je tepelný odpor z přechodu na pouzdro (junction - case), R_{cs} je tepelný odpor z pouzdra na chladič (case - sink), v tomto tepelném odporu se promítne tepelný odpor montáže a použité podložky, a R_s je tepelný odpor použitého chladiče (heatSink).

ΔT pak vyjadřuje rozdíl maximální teploty přechodu T_{jmax} a maximální teploty okolí tak jak byla určena T_a (ambient)

$$\Delta T = T_{jmax} - T_a$$

Při výpočtu chladiče pro vstupní usměrňovač by se tedy postupovalo podle předchozího návodu. Nejprve určíme vstupní parametry pro použitý můstek

$$T_a = 50^\circ\text{C}$$

$$T_{jmax} = 125^\circ\text{C}$$

$$R_{jc} = 1,4^\circ\text{C/W}$$

R_{cs} - není definováno, při použití pájecí pasty lze podle velikosti styčné plochy odhadnout cca. $0,2^\circ\text{C/W}$

$$P = 28\text{W}$$

Dosadíme do rovnic:

$$\Delta T = 125 - 50 = 75^\circ\text{C}$$

$$R_T = 75/28 = 2,7^\circ\text{C/W}$$

$$R_s = R_T - R_{jc} - R_{cs} = 1,1^\circ\text{C/W}$$

Tepelný odpor použitého chladiče musí být tedy nejvýše $1,1^\circ\text{C/W}$.

Při potřebě chladit více výkonových součástí současně je vhodné použít pouze jeden společný chladič. Mechanická konstrukce se zjednoduší a celková cena velmi pravděpodobně sníží.

Při výpočtu maximálního tepelného odporu společného chladiče vycházíme z jeho maximální teploty. Tu určíme z nejnižší výsledné hodnoty jednotlivých chlazených komponent, přičemž vycházíme z jejich tepelného odporu na chladič, ztrátového výkonu a z maximální teploty přechodu

$$T_{\text{smax}} = \min \{ T_{\text{jmax1}} - (P_1(R_{\text{jcl1}} + R_{\text{cs1}})); T_{\text{jmax2}} - (P_2(R_{\text{jcl2}} + R_{\text{cs2}})); T_{\text{jmax3}} - (P_n(R_{\text{jcln}} + R_{\text{csn}})) \},$$

kde n značí jednotlivé chlazené komponenty.

$$\text{Po dosazení } T_{\text{smax}} = \min \{ 125 - (28(1,4 + 0,2)); 175 - (72(1,25 + 0,5)); 175 - (1,25(1,2 + 0,5)); 175 - (1,25(1,2 + 0,5)); 175 - (1,25(1,2 + 0,5)) \} = \max \{ 80,2; 85; 172,5; 172,5; 172,5 \} = 80,2^\circ\text{C}$$

Maximální teplota chladiče tedy může být $80,2^\circ\text{C}$, vyšší teplota by znamenala přehřátí usměrňovacího můstku, který vyžaduje nejnižší teplotu chladiče. Za povšimnutí stojí, že na usměrňovacím můstku není největší ztrátový výkon.

Tepelný odpor chladiče nyní vypočteme podle rovnice $R_s = \Delta T / P_{\text{max}}$, kde P_{max} je součet všech ztrátových výkonů a ΔT rozdíl maximální teploty chladiče a teploty okolí. Po dosazení dostaneme $R_s = (80,2 - 50) / 103,4 = 0,29^\circ\text{C}/\text{W}$.

Maximální hodnota tepelného odporu chladiče je tedy $0,29^\circ\text{C}/\text{W}$. Tato hodnota je velmi malá a bez nuceného chlazení by byl potřeba velmi rozměrný chladič. Použití nuceného chlazení však umožňuje snížit tepelný odpor chladiče až na třetinu. Tepelný odpor se snižuje s rychlejším prouděním vzduchu. Tepelný odpor chladičů při nuceném chlazení lze nalézt v katalogových listech renomovaných výrobců.

4.5. Vnější konstrukce

Z ekonomických i estetických důvodů bylo rozhodnuto o použití skříňky PC – tzv. casu. Case, do kterého by se vešel chladič i pět transformátorů, lze lehce sehnat (z důvodu případné rozšíření modulů bylo v tomto případě použito většího casu), jeho konstrukce s plechovými bočnicemi lze snadno použít k odstínění celkové konstrukce a v neposlední řadě, PC case řeší estetickou stránku konstrukce. Je tak běžnou věcí, že na návštěvníka kulturního zařízení/klubu nebude v prostoru baru působit rušivě.

Továrně vyráběné konstrukční skříně v unifikovaném rozměru 19“ jsou sice také běžně k vidění a návštěvníka by samozřejmě také nepřekvapily, jejich pořizovací náklady v příslušných rozměrech jsou však výrazně vyšší.

5. Popis funkce zařízení

5.1. Popis zařízení

Celé zařízení je v současné chvíli ve zkušebním provozu, samozřejmě, jako při každé aplikaci, se objevily jisté komplikace, některé natolik závažné, že byly vyhodnoceny jako základní nevýhody celého zapojení a budou dále popsány.

Jedním z problémů, který se vyskytl, je použití integrovaných zdrojů z transformátorů pro halogenová svítidla, které jsou zdrojem silného elektromagnetického rušení a je potřeba je uvnitř konstrukce vhodně stínit, navíc stabilizátory vyžadují náročné chlazení a bylo potřeba upustit od původního požadavku zcela pasivního chlazení. Řešením tohoto problému by mohly být spínané zdroje, které jsou stále ekonomicky výhodnější, je však potřeba prověřit jejich zatížitelnost spínanými impulzy PWM.

Dalším problémem jsou napájecí vodiče pro LED RGB pásky, které při větších vzdálenostech musejí mít dosti značný průřez, jsou tedy ekonomicky nákladné, navíc kvůli použití PWM řízení jsou zdrojem rušení a je třeba je vhodně instalovat, tedy vyhnout se místům, kde by toto rušení mohlo mít negativní vliv – například v blízkosti signálových kabelů ozvučení klubu.

Nečekaný problémem se vyskytl v důsledku řízení jednoduchým a poměrně pomalým procesorem, které se projevuje blikáním LED RGB pásků na kamerovém systému, obzvláště markantním při změně barev pásků – procesor mění barvu pásku ve skocích určených dobou potřebnou k přečtení DMX signálu a splněním funkcí programu z toho vyplývající, tedy zhruba frekvencí 44Hz (viz kapitola 2.1.3), což sice lidské oko vyhodnocuje jako plynulý přechod barvy, kamery s vyšší obnovovací frekvencí však tuto změnu zachycují. V daném klubu je však jen bezpečnostní kamerový systém, kde tento jev není problémem, na závadu by to tedy mohlo být pouze v případě, kdy by z prostorů klubu byl pořizován nějaký kamerový záznam určený pro další využití, například záznam koncertu. Pro současnou aplikaci je tedy zapojení

vyhovující, avšak na základě případného požadavku vzneseného provozovatelem klubu, který byl s tímto jevem seznámen, bude zahájen vývoj řídicí elektroniky pracující s některým modernějším a rychlejším procesorem, například procesorem s architekturou AVR firmy ATMEL.

Jinak celé zařízení pracuje dle očekávání a plní funkci, pro kterou bylo navrženo bez závažnějších problémů, je tedy připraveno pro kontrolu revizním technikem a uvedením do provozu v plném rozsahu. Na následujících obrázcích jsou ukázky instalovaných RGB LED pásek přímo v interiéru klubu zadavatele projektu.

5.2. Celkové zhodnocení

5.2.1. Výhody zařízení

Hlavní výhodou tohoto řešení je pravděpodobně proudové zatížení až 20A na kanál, respektive při užití silnějších zdrojů i vyšších, čehož žádný jiný regulátor, který je komerčně k dostání, není schopen dosáhnout.

Další výhodou je konstrukce, která je tvořená přímo pro dané prostředí, je tedy přesně odladěna a vyhovuje potřebám zadavatele, navíc je modulární, tedy lze kdykoliv rozšířit podle jeho potřeb a požadavků.

V neposlední řadě je velkou výhodou cenová dostupnost, i když bude započtena práce technika při stavbě a oživování, celková cena zařízení je stále zhruba poloviční oproti komerčně prodávaným regulátorům.

5.2.2. Nevýhody zařízení

Základní nevýhodou tohoto řešení je, jak již bylo řečeno, požadavek zadavatele na zdroj vytvořený z klasického transformátoru, který s sebou přináší řadu dalších nevýhod, jako je poměrně malý výkon při velkém rozměru a nutnost použití stabilizátoru s velkými tepelnými ztrátami.

Další nevýhodou je zmiňovaný pomalý typ mikroprocesoru, který nedovoluje vícekanálové řešení, které by ještě zlevnilo celou konstrukci, navíc u něj nastává již popisovaný problém s kamerovým záznamem.

Použití PWM regulace s sebou také nese nevýhody v podobě možného vyzařování rušení vedením, ale vzhledem k výhodám této modulace pro regulaci LED diod nebylo lepší řešení.

Závěr

V této práci byl popsán kompletní návrh řešení PWM modulace pro RGB pásy řízené pomocí protokolu DMX512 podle konkrétních požadavků kulturního zařízení – hudebního klubu. Snahou bylo popsat postup při navrhování podobného zařízení, které začíná u teoretického návrhu, zvážení požadovaných vlastností a požadavků zadavatele a končí vlastní, více, či méně úspěšnou, realizací.

Vývoj tohoto zařízení ještě není zcela ukončen a je třeba přiznat, že některé skutečnosti zjištěné jak při návrhu, tak při realizaci tohoto projektu zjevně povedou k jeho dalším úpravám, či tvorbě zařízení zcela nového. Poznatky získané při realizaci tohoto projektu a tvorbě této práce však mají velký přínos pro budoucí vylepšení stávajícího projektu, či tvorbu nového zařízení.

Vytvořené zařízení je z hlediska funkčnosti zcela schopné konkurovat komerčně vyráběným ekvivalentům, v některých aspektech, jako je například maximální výstupní proud, nebo pořizovací náklady je dokonce výrazně předčí, celý projekt lze tedy považovat za úspěšný.

Použitá literatura

- [1] Oficiální stránky institutu USITT, (<http://www.usitt.org>)
- [2] Electronic Components Association, (<http://www.ecaus.org>)
- [3] Svět očima hudby, (<http://www.soh.cz>)
- [4] Round, H. J. (1907), "A note on carborundum," Electrical World, kap. 49, strana 309.
- [5] Lossev, O.V. (1928), "Luminous carborundum detector and detection effect and oscillations with crystals", Philosophical Magazine, Series 7 5 (39): 1024–1044, doi:10.1080/14786441108564683
- [6] Analog Devices, katalogový list, (http://www.analog.com/static/importedfiles/data_sheets/ADuM2400_2401_2402.pdf)
- [7] Texas Instruments, katalogový list (<http://www.ti.com/product/sn75176a>)
- [8] Atmel, katalogový list, (<http://www.atmel.com/devices/at89c2051.aspx>)
- [9] T-LED, LED produkty, webové stránky, (<http://www.t-led.cz>)
- [10] GM electronics, katalogový list, (<http://www.gme.cz/dokumentace/227/227-008/dsh.227-008.1.pdf>)
- [11] ST microelectronics, katalogový list, (http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/270/9138_DS.pdf)
- [12] GM electronics, katalogový list, (<http://www.gme.cz/dokumentace/213/213-071/dsh.213-071.1.pdf>)

Příloha A

Použitý SoftWare

Microsoft Word (www.microsoft.com)

Eagle 5.6.0 (<http://www.eagle.cz/>)

Elektronic Workbench Multisim 9 (www.ni.com)

OrCAD 10.5 (www.cadence.com)

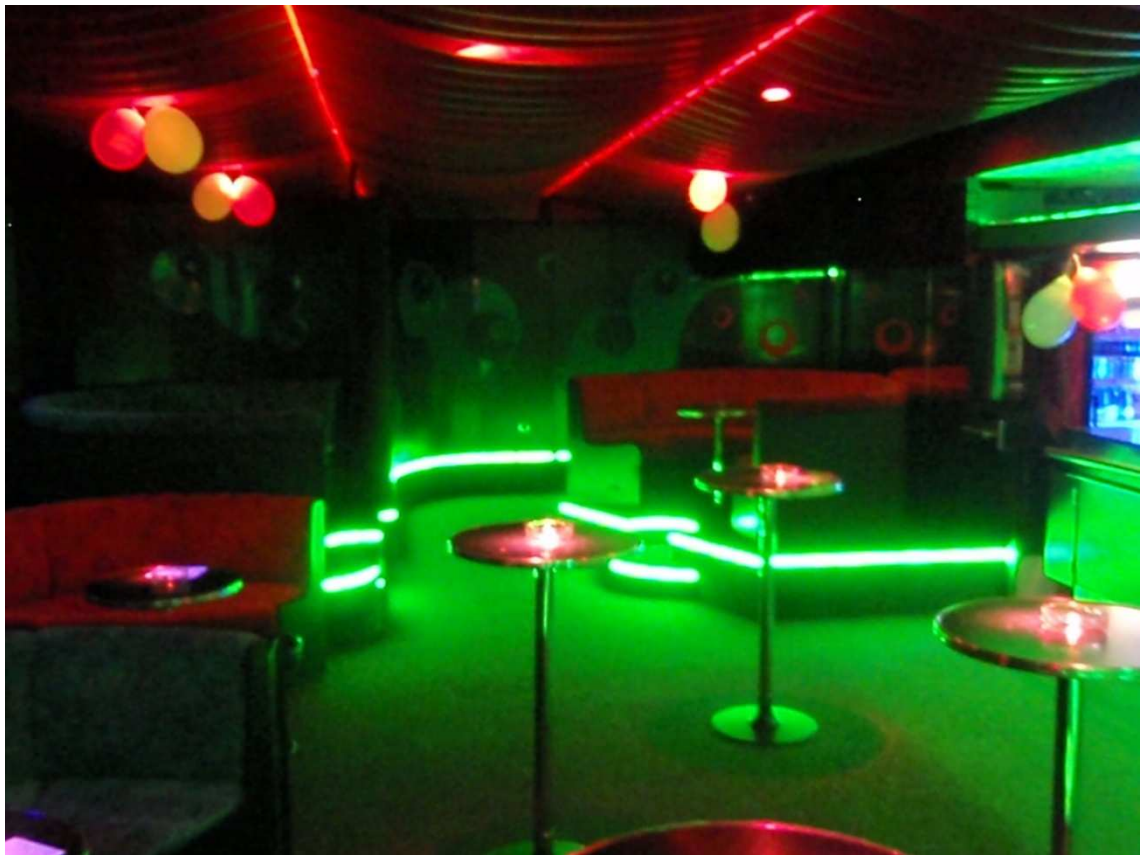
Licence na výše uvedený software vlastní Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Budějovická 421, Sezimovo Ústí, 391 02, nebo autor sám.

Příloha B

Fotografie z vlastní realizace

Fotografie byly pořízeny v hudebním klubu, pro který bylo vyvíjeno zařízení popisované v této práci.





Příloha C

Program procesoru

Autorem programu je pan Miroslav Madra (www.hypex.sk)

Program pre AT89C2051:

\$MOD51

\$TITLE(E-MI - DMX to RGB PWM converter for LED driver V 3.0)

\$NOPAGING

\$DEBUG

; I/O pinout =====

; CPU Atmel AT89C1051, AT89C2051, AT89C4051

; P1.0..7 - DMX Start Address 0..255

; P1.0 - DMX serial data input

; P1.1 - Chanel1 PWM output - RED

; P1.2 - Chanel2 PWM output - GREEN

; P1.3 - Chanel3 PWM output - BLUE

; P1.4 - Nc

; P1.5 - Nc

; P1.7 - DMX Error led

; Variables Description =====

Rcom DATA 030h ; DMX Chanel1 - Red

Gcom DATA 031h ; DMX Chanel2 - Green

Bcom DATA 032h ; DMX Chanel3 - Blue

TOutLo DATA 03Ah ; DMX Error TimeOut L byte

TOutHi DATA 03Bh ; DMX Error TimeOut H byte

Slot DATA 03Dh ; Now arriving DMX slot

SlotNo DATA 03Eh ; Received slots (0..2)

Addr DATA 03Fh ; DMX start address - DIP switch

Break BIT 000h ; DMX Break OK, waiting for StartCode=0

; Interrupt vectors =====

ORG 0000h ; I/O initialisation after reset
AJMP INIT
NOP

ORG 000Bh ; PWM trigger interruption
AJMP PWM
NOP

; DMX512A Serial Communication =====

ORG 0023h
PUSH ACC
PUSH PSW
CLR RI
JB RB8,OkSlot ; Data test
JB P3.0,DMXErr ; Break test
MOV A,SBUF
JNZ DMXErr
JB P3.0,DMXErr
MOV Slot,#0 ; Break OK
MOV SlotNo,#0 ; Start receiving DMX
SETB Break ; Break detected - wait for DMX StartCode
POP PSW
POP ACC
RETI

OkSlot: JNB Break,DSlot ; If not waiting for startcode after break
MOV A,SBUF
JNZ DMXErr ; Check DMX StartCode
CLR Break ; DMX StartCode ok
MOV TOutHi,#255 ; Reset DMX Error timeout
SETB P3.7 ; DMX Error LED -> Off
MOV A,P1 ; Read DMX Start Address from DIP Switch
CPL A
MOV Addr,A ; Save DMX Start Address
POP PSW
POP ACC
RETI

DMXErr: MOV SlotNo,#3 ; If is any DMX problem
CLR P3.7 ; DMX Error LED -> On
POP PSW
POP ACC


```

CLR P3.2
AJMP GFull
GNoFul: SETB C
SUBB A,R2
MOV P3.2,C
GFull:
INC R3 ; Triangular comparation counter for BLUE PWM
MOV A,Bcom ; Comparator Blue
CJNE A,#0FFh,BNoFul
CLR P3.3
AJMP BFull
BNoFul: SETB C
SUBB A,R3
MOV P3.3,C
BFull:
POP PSW ; Restore registers
POP ACC
RETI ; Return from PWM interruption routine
NOP
; End Of PWM =====

```

```

; CPU Device Initialisation =====

```

```

ORG 0100h ; Inicializacia CPU po resete
INIT: MOV P1,#0FFh ; [0]..[7] DIP Switch Adress
MOV P3,#0FFh ; [0]=DMX RxD [1]=Red OUT [2]=Green OUT [3]=Blue OUT [7]=Error LED

```

```

MOV SP,#50h ; Set stack pointer

```

```

MOV SlotNo,#3 ; Set waiting for DMX512 Break
MOV PCON,#00000000b ; Serial speed = 16MHz/64=250kb (DMX512A 1998 USITT)
MOV SCON,#10011000b ; Serial channel in mode "2" - 9bit UART - receiving

```

```

MOV TMOD,#00010001b ; T0, T1 mode (Fosc/12)/THn:TLn
MOV TCON,#00010000b ; Enable timer T0

```

```

MOV IE,#10010010b ; Enable interruption from Serial input and Timer0 TF0
MOV IP,#00010000b ; Prefer interruption from serial link

```

```

MOV Rcom,#0 ; Set Red value after reset
MOV Gcom,#0 ; Set Green value after reset
MOV Bcom,#0 ; Set Blue value after reset

```

```

MOV R1,#0 ; Init. triangular comparator counter for RED PWM - shift 0°
MOV R2,#84 ; Init. triangular comparator counter for Green PWM - shift 120°
MOV R3,#170 ; Init. triangular comparator counter for Blue PWM - shift 240°

```

```
; Main Loop =====  
  
Loop: NOP  
DJNZ TOutLo,Loop  
DJNZ TOutHi,Loop ; DMX TimeOut 16bit counter ~1s  
CLR P3.7 ; LED DMX Error -> On  
MOV Rcom,#0 ; If is DMX Error - mute all PWM outputs  
MOV Gcom,#0  
MOV Bcom,#0  
AJMP Loop  
  
; End of Main Loop =====  
  
END; Program End  
=====
```

Příloha D

Obsah přiloženého DVD

K této práci je přiložené DVD s následujícím obsahem:

- Foto: Fotografie z výroby, oživování a vlastní instalace zařízení
- Multisim: Zapojení hlavních částí konstrukce v simulačním programu Multisim
- Eagle: Schémata a DPS vytvořené v programu EAGLE
- AP_Pistulka_2012.pdf: Absolventská práce ve formátu pdf