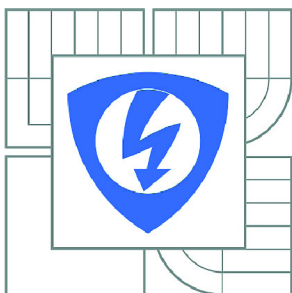


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

OPTIMALIZACE NAPÁJENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ S LUMINISCENČNÍMI DIODAMI LED

OPTIMIZATION OF POWER SUPPLY FOR LED LIGHT SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

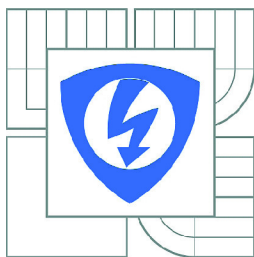
JAKUB KOŽDOŇ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JAROSLAV BOUŠEK, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Jakub Koždoň

ID: 125498

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace napájení světelných zdrojů s luminiscenčními diodami LED

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte vliv provozních parametrů na změnu funkce struktury LED a uveďte, jak jsou tyto problémy u obvodů pro napájení LED řešeny.

Na základě získaných poznatků navrhnete s použitím LED světelný zdroj s proměnnou intenzitou osvětlení.

Navržený zdroj realizujte a zhodnoťte, zda jeho skutečné vlastnosti odpovídají požadovaným parametrům.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 31.5.2012

Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Boušek, CSc.

Konzultanti 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

Práce se zabývá popisem funkce, analýzou degradačních dějů, měřením životnosti a návrhem tepelného a napájecího obvodu pro LED. Životnost výkonových LED je závislá především jejich na pracovní teplotě. Proto budou popsány některé postupy měření a stanovování životnosti LED a vlivy které životnost ovlivňují. Důležitým prvkem svítidel jsou napájecí obvody. Jejich vlastnostmi lze ovlivnit životnost celého svítidla. Popíšu některé vlastnosti a vlivy obvodů pro napájení LED a jejich funkce, které je potřeba znát při návrhu. Uvedu několik příkladů takovýchto obvodů a ukážu konkrétní návrh zdroje pro napájení diod LED a jeho realizaci.

Abstract

This work focuses on description of function, analysis of degradation process, measuring lifetime and design thermal and electrical driving circuit for LED. Lifetime power LED basically depends on their working temperature. So some methods for measuring and determine LED lifespan and impacts which affects their lifetime are going to be described. Driving circuits are one of keys of element lamps. Their characteristics can affect lifetime of all lamp. So some properties and impacts of circuits for driving LED's and their functions which are necessary need to know in design will be described . I'll also catalogue some circuits which are suitable for that and show particular design power supply for LEDs and it's realization.

Klíčová slova:

LED, luminiscenční dioda, osvětlení, životnost, teplotní management, napájení LED

Keywords:

LED, light emitting diode, lighting, lifetime, thermal management, LED driving

Bibliografická citace díla

KOŽDOŇ, J. *Optimalizace napájení světelných zdrojů s luminiscenčními diodami LED*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 35 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Jaroslav Boušek, CSc..

Prohlášení autora o původnosti díla

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Optimalizace napájení světelných zdrojů s luminiscenčními diodami LED“ 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 tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 28.5.2012

.....

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaroslavu Bouškovi, CSc. za odborné vedení, cenné připomínky a ochotu při řešení této práce.

Obsah

Úvod.....	6
1 Konstrukce LED.....	6
2 Pracovní podmínky diod LED.....	9
2.1 Měření životnosti LED.....	9
2.2 Teplotní management.....	10
3 Napájení LED.....	12
3.1 Požadavky na obvody pro napájení LED.....	12
3.2 Napájení LED a obvodové řešení napájení.....	13
3.3 Příklady obvodů.....	16
4 Řešení práce.....	18
4.1 Vstupní obvod.....	19
4.2 Diody LED.....	19
4.3 Hlavní část – zdroj proudu.....	20
4.4 Řídící část.....	23
4.5 Měření.....	24
5 Závěr.....	27
6 Seznam literatury.....	28
7 Seznamy symbolů, veličin a zkratk.....	30
8 Seznam příloh.....	31

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Vznik světla v LED [23].....	7
Obr. 1.2: Způsob uchycení a kontaktování čipu [12].....	9
Obr. 1.3: Nanesení luminoforu a závislost jeho množství na výsledné vlastnosti světla [12].....	9
Obr. 2.1: Příklad změřených hodnot světelného toku v průběhu času [26].....	12
Obr. 2.2: Řez výkonovou LED a její teploty [3].....	13
Obr. 2.3: Tepelné schéma chlazení LED.....	15
Obr. 3.1: Napájecí obvod pro napájení 50W LED světlometu s LT3755 [21].....	19
Obr. 3.2: Zapojení obvodu LM3414 [13].....	20
Obr. 3.3: Lineární zdroj pro LED s MAX16824 [17].....	20
Obr. 3.4: Blokové schéma obvodu AL9910.....	24
Obr. 4.1: Schéma obvodu s AL9910.....	24
Obr. 4.2: Schéma zapojení filtru.....	25
Obr. 4.3: Deska plošných spojů filtru (měřítko 1:1).....	25
Obr. 4.4: XM-L High Voltage.....	25
Obr. 4.5: Schéma zapojení hlavní části.....	28
Obr. 4.6: Deska plošných spojů hlavní části (měř. 2:1).....	28
Obr. 4.7: Schéma zapojení řídicí části.....	29
Obr. 4.8: Deska plošných spojů řídicí části (měř. 2:1).....	29
Obr. 4.9: Filtr.....	30
Obr. 4.10: Řídící část.....	30
Obr. 4.11: Hlavní část.....	31
Obr. 4.12: Hlavní část, horní pohled, rozsvícené diody LED.....	31
Obr. 4.13: Napětí na snímacím odporu R1.....	32
Obr. 4.14: Napětí UD-S na spínacím tranzistoru.....	32

Úvod

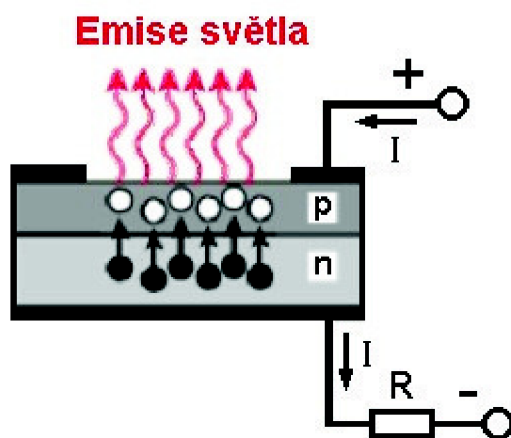
Osvětlení pomocí diod LED začíná být zajímavé, zvláště kvůli stále se zvyšující účinnosti, která pomalu začíná převyšovat často používané a účinné světelné zdroje – nízkotlaké sodíkové výbojky. Diody LED mají dobré barevné podání, které se u některých typů blíží barevnému podání žárovek. Další výhodou je jejich dlouhá životnost, která je ovšem závislá na pracovních podmínkách, zejména na pracovní teplotě.

A právě řešení teplotního managementu a napájení LED bude součástí této práce. Zaměřím se hlavně na výkonové diody vhodné k osvětlování. V první části popíšu funkci a konstrukci diod LED a jejich degračních mechanismů, v návaznosti zmíním i měření a vyhodnocování jejich životnosti. Protože je životnost závislá především na jejich pracovní teplotě, uvedu i zjednodušený návrh chlazení. Shrnu vlastnosti obvodů pro napájení diod LED, jejich vlivy na diody a několik obvodů detailně rozeberu. Pomocí vybraného obvodu navrhu a zkonstruuji zdroj pro napájení LED.

1 Konstrukce LED

Světelná dioda, LED (aj. Light Emitting Diode) nebo taky elektroluminiscenční dioda je založena na PN přechodu. Přechod je složen hlavně z polovodičů typu $A^{III}B^V$ s vysokou čistotou, dotované malým množstvím příměsí. Tyto pak vytvářejí oblasti s větší koncentrací elektronů polovodič typu N (nadbytek elektronů) a děr, polovodič typu P (nadbytek děr). Mezi těmito oblastmi se nachází právě přechod PN. Ten funguje jako bariéra zabráňující toku elektronů a děr z jednotlivých oblastí v ustáleném stavu.

Pro uvolnění elektronu z valenčního pásu do pásu vodivostního musí být ve vodivostním volné místo a musí být elektronu dodána energie, která mu umožní přechod do vodivostního pásu. Mezi těmito pásy je zakázaný pás, který udává minimální energii pro přechod z valenčního do vodivostního pásu a naopak. Pokud je elektron ve vodivostním pásu, může rekombinovat s dírou ve valenčním pásu, v tom případě dojde k uvolnění energie, která je rovna právě energii, kterou potřeboval k přechodu do vodivostního pásu. Tato energie se může uvolnit ve formě fotonu. U běžných diod způsobuje ohřev materiálu, ale u LED se může vyzářit ve formě infračerveného (IR), viditelného nebo ultrafialového (UV) záření.



Obr. 1.1: Vznik světla v LED [23]

Přiložením dostatečně velkého napětí správné polaroty na diodu dojde k překonání bariéry (zakázaného pásu). Proto se elektrony z oblasti N můžou pohybovat přes přechod, kde v oblasti P s majoritní koncentrací děr rekombinují. Každý rekombinovaný elektron přechází z vyššího energetického stavu do nižšího a uvolní se kvantum energie (viz. Obr. 1.1). Takto se mění elektrická potenciální energie na elektromagnetickou. Vlnová délka závisí zvláště na šířce zakázaného pásu, která plyne z použitého polovodičového materiálu a příměsí. [23]

Polovodiče pro výkonové diody LED jsou většinou založeny na gáliu. Červené světlo může vznikat v polovodičích AlGaAs, které jsou používány pro signalizaci, tak i pro displeje. Tyto byly první průmyslově používané. V polovodičích o složení InGaAlP může vznikat záření o dominantní vlnové délce od červené až po žluto-zelenou. Ty se pak využívají pro signalizaci, dopravní značení, mobilní telefony či automobilové aplikace. Modré či zelené světlo vzniká v polovodičích o složení InGaN, které se používají pro signalizaci, dopravní značení, automobily a mobilní telefony. Modré diody tohoto složení se taktéž používají pro vytváření bílého světla. [6]

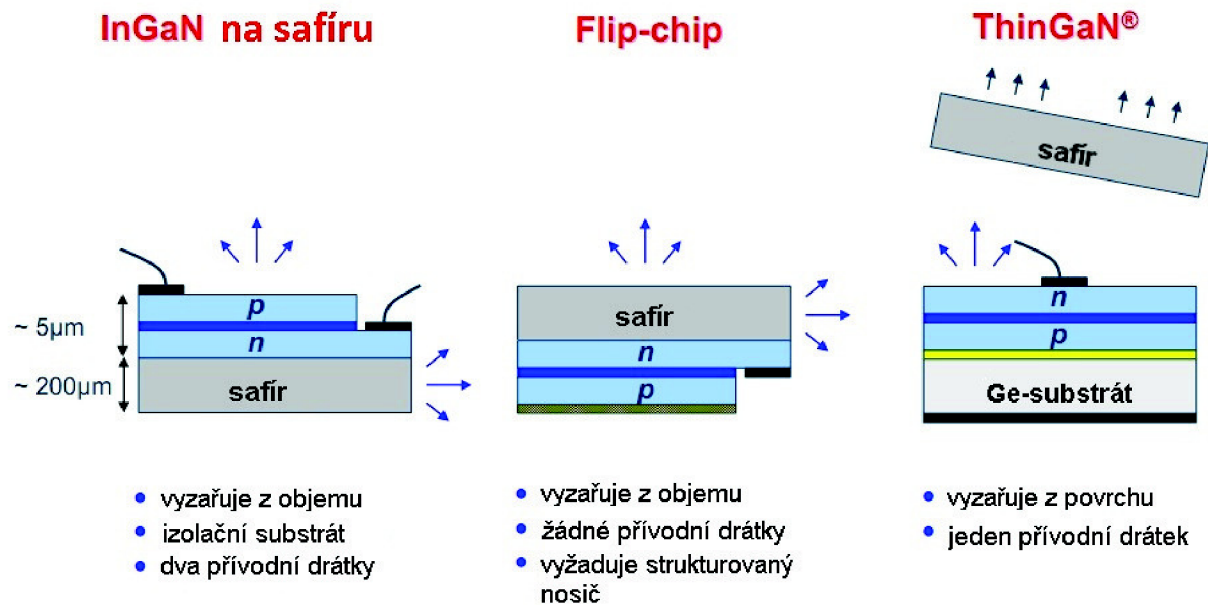
Bílé světlo může vznikat dvěma způsoby. Buď se použijí tři jednotlivé LED, červená, zelená a modrá a výsledné světlo se takto složí. Druhou variantou je použití modré nebo ultrafialové (UV) LED a pomocí fosforescence luminoforu se původní světlo o dané vlnové délce přemění na jiné vlnové délky.

Výhoda použití třech LED a skládání spočívá ve velkém množství barev a odstínů, které je možné takto získat. Způsob skládání barev používá v barevných displejích, kde je potřeba mít všechny barvy. Většinou jsou to velkoformátové displeje, protože tam jsou jiné technologie obtížně aplikovatelné. Dále se používají pro podsvícení displejů založených na tekutých krystalech (LCD). U nich se využívá možnosti měnit barvy a odstíny pro rozšíření zobrazovaného spektra barev. Nevýhody spočívají v rozdílném stárnutí jednotlivých diod a to pak vede ke změně v generovaných odstínech.

Další možnost je použití ultrafialových LED a složení tří luminoforů, které přeměňují UV světlo na světlo o potřebných vlnových délkách, podobně jako u fluorescenčních trubíc. Výhodou je nezávislost vzniklého světla na odchylkách diody, světlo je závislé pouze na použitých luminoforech. Avšak použité ultrafialové světlo způsobuje problémy, protože použité materiály mu musí odolat a případné úniky můžou způsobit další potíže. Takové diody se nevyrobějí, kvůli malé účinnosti luminoforů a potížích s úniky UV záření.

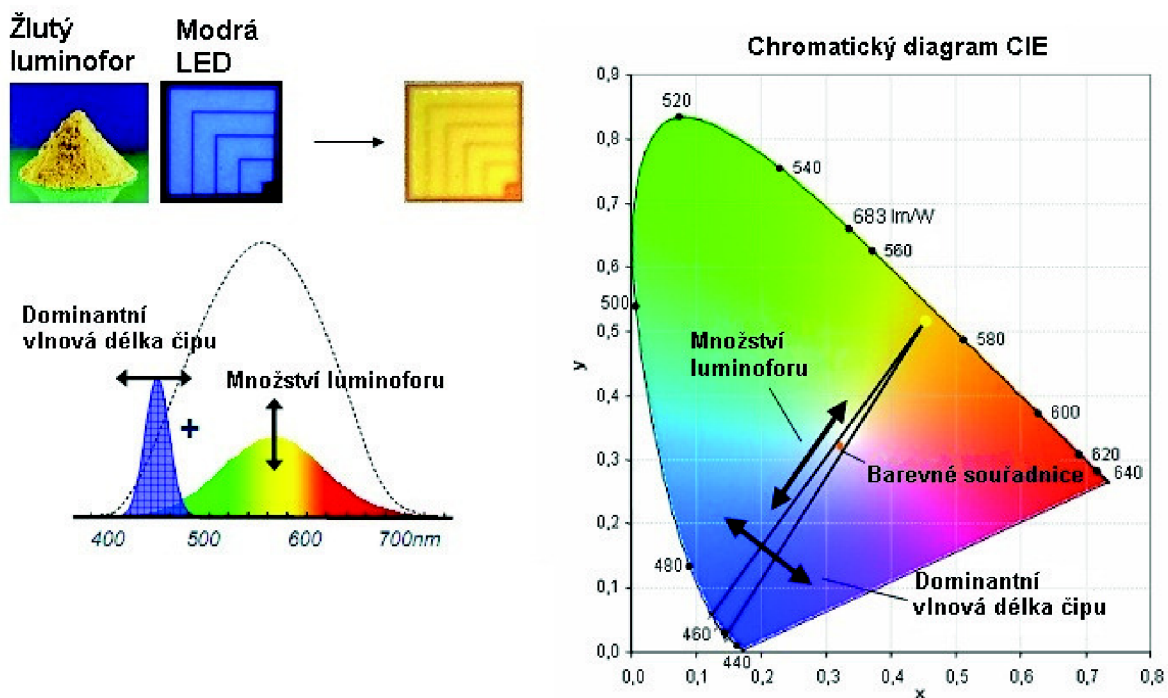
Nejpoužívanější bílé diody jsou založeny na modré LED a žlutozeleném luminoforu, který mění část modrého světla. Vznikající světlo má spojitě a široké spektrum. To může zajistit dobré podání barev, avšak chybí část zeleného a červeného světla. Jednoduchost a dostatečné barevné podání současně s dobrou tepelnou stabilitou odstínu vytvářeného světla patří mezi výhody. [16]

Čip je potřeba vhodně zapouzdřit. Takže se vhodným způsobem fixuje na podložku, ta je buď kovová, keramická nebo i jiná. Existují tři používané způsoby připojení, prvním je flip-chip, kdy se obrácený čip přilepí nebo spíše připájí na podložku a vyzařuje svým horním povrchem (ten je tvořen safírovým substrátem z výroby čipu). Dalším možným způsobem je klasický způsob, kdy se čip uchytí na podložku a přívody se přibondují, v drtivé většině to jsou zlaté drátky. Pak světlo vychází přímo z oblasti přechodu. Poslední metoda má název ThinGaN, kdy se safírový substrát odstraní, potom zůstane jenom oblast přechodu a ta se umístí na vhodnou podložku. Více je to pochopitelné z Obr. 1.2.



Obr. 1.2: Způsob uchycení a kontaktování čipu [12]

Poté se u bílých LED nanese vrstva luminoforu, jehož složení a množství zásadním způsobem určuje vlastnosti světla, jako jsou barevná teplota a index podání barev R_a (Color Rendering Index – CRI), viz. Obr. 1.3. Jeho vlastnosti, zejména tepelná a chemická, mají podstatný vliv na změny ve světelném toku z diody jak při změně teplot, tak hlavně v průběhu času. Nakonec je celek zapouzdřen buď v čirém nebo zbarveném epoxidu anebo u výkonových LED je zakápnut silikonovým gelem. Tímto se může ovlivnit směrová vyzařovací charakteristika diody, ale zároveň zvláště gel u výkonových LED postupem času mění své vlastnosti a to má negativní dopad na vyzářený světelný tok. [12]



Obr. 1.3: Nanesení luminoforu a závislost jeho množství na výsledné vlastnosti světla [12]

2 Pracovní podmínky diod LED

2.1 Měření životnosti LED

Životnost většiny světelných zdrojů je udávána jako střední doba, změřená na určitém množství vzorků, během které dojde k selhání a tím i celkovému ukončení funkce. Avšak životnost LED, zvláště výkonových, je natolik dlouhá, že bylo potřeba stanovit jiný způsob, podle kterého se určí životnost jak jednotlivé diody, tak i celého svítidla.

Publikace zabývající se měřením světelných zdrojů jsou vydávány například společností Illuminating Engineering Society (IES). Některé dokumenty, které vydala se zabývají právě měřením a stanovováním životnosti světelných zdrojů založených na diodách LED. Jedná se zvláště o dokument LM-80-08 s názvem: „Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources“ z roku 2008. V tomto popisuje potřebné informace pro opakovatelné měření LED a parametry, které je potřeba měřit a udržovat.

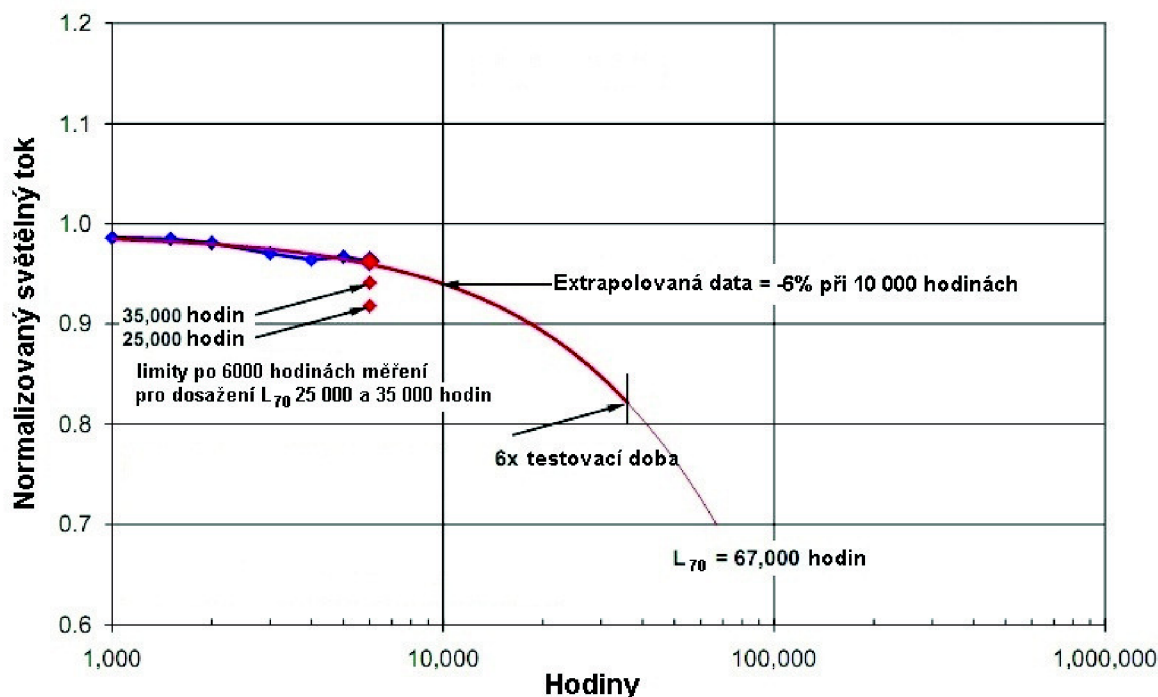
Místo měření života se podle LM-80-08 měří pokles vyzářeného světelného toku v průběhu času. Tomuto se říká pokles světelného toku (aj. lumen depreciation), opačné hodnotě se říká zůstatek světelného toku (aj. lumen maintenance). Tento zůstatek je v průmyslu často používán a udává zbývající světelný tok, který po určité době daný světelný zdroj vyzařuje. Většinou je v procentech výchozí hodnoty.

Značení zůstatku se uvádí jako L_p , kde L znamená původní hodnotu světelného toku a p je procentní zůstatek původního světelného toku po uplynutí určité doby. Takže například L_{97} udává jak dlouho trvá, dokud světelný tok nepoklesne na 97 % původního toku (3% pokles).

Minimální doba měření, podle LM-80-08 je 6000 hodin, preferovaná 10 tisíc hodin. Měří se v periodách 1000 hodin nebo kratších. Po tuto dobu se udržují teploty přechodu na třech hodnotách, 55°C, 85°C a poslední si stanovují výrobci. Takové měření jsou časově velice náročné a ještě je nutno měřit na více diodách, pro omezení výrobních tolerancí a odchylek.

Avšak z těchto měření nelze přímo zjistit užitečnou dobu života LED. Proto skupina Alliance for Solid State Illumination Systems and Technologies (ASSIST) zveřejnila několik doporučení, která stanovují užitečnou dobu, jako dobu po kterou světelný zdroj dodává potřebný světelný tok pro danou aplikaci. Tato doporučení stanovují, že pro všeobecné osvětlení by neměly úrovně osvětlení klesnout pod 70 % počáteční hodnoty, zvláště pokud je pokles postupný. Pro tyto případy ASSIST uvádí užitečnou dobu života jako L_{70} . Pro dekorativní osvětlení je takto stanoven možný pokles 50 % a užitečná doba takového světelného zdroje na dobu L_{50} . Doby L_{70} a L_{50} jsou často používány u světelných zdrojů založených na diodách LED.

Avšak než klesne světelný tok na 70 % případně 50 % původního toku, je potřeba mnohem delší dobu než stanovuje LM-80-08. Proto výrobci výslednou dobu extrapolují ze změřených hodnot. Pro jasnější stanovení doby života jak jednotlivých LED a jejich polí či modulů, tak i pro celé světelné zdroje s LED nadále vznikají další normy a předpisy. Při měření světelných zdrojů se zohledňuje životnost napájecí elektroniky, tak i podmínky prostředí, kde bude zamýšlený světelný zdroj používán. Příklad měření podle LM-80-08 a extrapolace je na Obr. 2.1. [5] [18] [26]



Obr. 2.1: Příklad změřených hodnot světelného toku v průběhu času [26]

2.2 Teplotní management

Pro dosažení dlouhé životnosti LED je potřeba zajistit správné pracovní podmínky. Především jde o teplotu čipu, dále pak proud diodou a teplotu okolí (Obr. 2.2). Tyto teploty je potřeba udržet co nejmenší a to je možné dosáhnout několika způsoby.

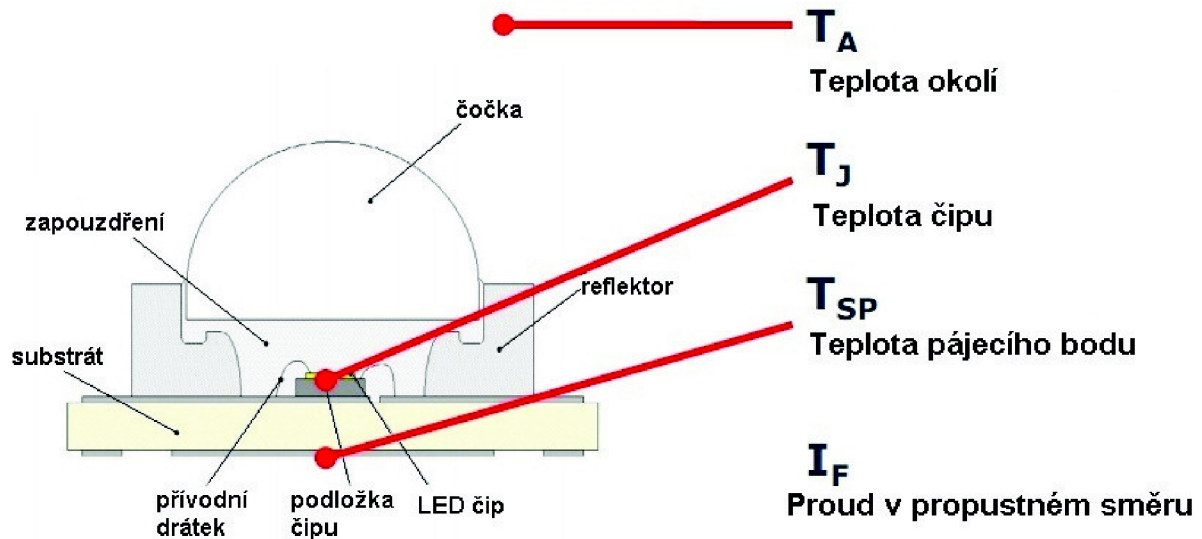
První možností jak udržet nízké pracovní teploty LED je použití chladiče. To je u výkonových diod téměř nutností, protože množství vznikajícího tepla i přes jejich dobrou účinnost je velké.

Další možností je použití více diod. V takovém případě je pro stejný světelný tok potřeba menšího příkonu do každé z diod. Výsledkem je lepší účinnost každé diody, při použití původně zamýšlených diod a lepší plošné rozložení tepla. Použití více diod snižuje nároky na chlazení a zároveň při nižší pracovní teplotě dále zlepšuje účinnost každé diody. Také je možné použít více diod s menším výkonem a tím i s menší cenou. Množství a druh použitých diod určuje cenu svítidla, proto je nutné pro danou aplikaci zvolit správný typ a množství LED. [25]

Maximální teplota čipu může v současné době dosáhnout pro polovodiče běžných 150 °C, přičemž doba života L_{70} se při takovéto teplotě pohybuje nad 20 000 hodin. Při teplotách menších se životnost zvětšuje. Podobné to je i s teplotou okolí, kde menší teplota zvětšuje dobu života (pomaleji stárne gelová čočka nebo epoxidové pouzdro). Zároveň při menších teplotách mají LED lepší účinnost. Menším proudem je možné dosáhnout menších teplot a tím i delší životnosti, avšak s menším proudem klesá světelný tok. [3]

Diody LED se většinou vyrábí v pouzdrech, která se musí připájet na plošný spoj, jenž zajistí odvod vznikajícího tepla. Pro aplikace, kde není potřeba vysoký světelný výkon nebo v aplikacích, kde je potřeba krátké impulzy, je možné diody připájet na desku s plošnými spoji

se základním materiálem z organických materiálů. Pro výkonové aplikace se LED pájejí na plošné spoje s kovovým základním materiálem (aj. metal core printed circuit boards – MCPCB), většinou to je hliník, který vznikající teplo odvede do chladiče. Pro přesný návrh je nutno počítat i s tepelným odporem pájeného spoje, tepelným odporem plošného spoje pod LED nebo izolačního materiálu pod LED v případě MCPCB a jeho přechodu na případný chladič a odporu chladiče. Někteří výrobci vyrábějí diody určené k přímé montáži na chladič. U takových diod je základní substrát buď keramický nebo kovový. [15] [19] [20] [25]



Obr. 2.2: Řez výkonovou LED a její teploty [3]

Výkonové diody LED (např. Obr. 2.2) se většinou vyrábějí velice malé a je potřeba nějakým způsobem z nich odvést vznikající teplo. Takže každý výrobce takových diod udává tepelný odpor $R_{TH\ j-sp}$, jenž uvádí v katalogových listech dané diody. Je to tepelný odpor mezi čipem LED a pájecím spojem, většinou určeným pro odvod tepla. Pomocí tepelného odporu $R_{TH\ j-sp}$ je možné z teploty pájecího bodu zjistit teplotu čipu (1), např. při měření životnosti.

$$T_j = T_{sp} + (R_{TH\ j-sp} \cdot P_{LED}) = T_{sp} + (R_{TH\ j-sp} \cdot I_{LED} \cdot 10^{-3} \cdot U_{LED}) \quad (1)$$

kde	T_j	je teplota přechodu	[°C]
	T_{sp}	teplota pájecí plošky	[°C]
	$R_{TH\ j-sp}$	tepelný odpor přechod–pájecí bod	[°C W ⁻¹]
	P_{LED}	ztrátový výkon LED	[W]
	I_{LED}	proud LED	[mA]
	U_{LED}	napětí na LED	[V]

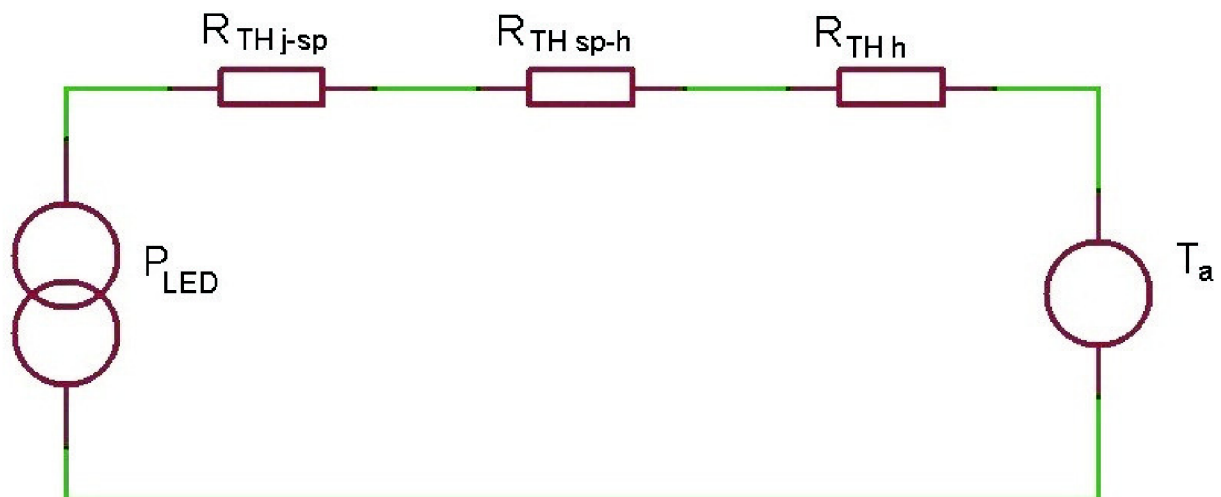
Dioda je připájena na desku s plošnými spoji, která u méně výkonných aplikací funguje jako chladič pro odvod tepla, ale u výkonnějších aplikací funguje jako montážní prvek, který slouží k odvodu tepla a k uchycení diody na chladič. Hlavním z úkolů návrháře světelných zdrojů založeného na LED je právě navrhnutí patřičného chladiče. Parametry chladiče závisí na možnostech, které návrhář má, zejména na tom, jaké jsou maximální možné rozměry svítidla a chladiče, vlastnosti pracovního prostředí, cena svítidla a jeho životnost. Vzhledem k

dlouhé životnosti samotných LED je velice důležitá životnost napájecí elektroniky. Použité elektronické součástky mohou značně ovlivnit jak životnost celého svítidla, tak i jeho spotřebu a účinnost.

Pro **návrh chladiče** diod LED je možné sestavit tepelné schéma, podle kterého se chladič navrhne. V tomto uvádím jednodušší tepelné schéma (Obr. 2.3), ve kterém je zdroj tepla dioda LED se svým ztrátovým výkonem P_{LED} a tepelným odporem přechod – pájecí bod $R_{TH\ j-sp}$. Za ním následuje tepelný odpor pájecí bod – chladič $R_{TH\ sp-h}$, který zahrnuje tepelný odpor pájeného spoje, plošného spoje (lze většinou najít u výrobce nebo dodavatele MCPCB) a přechodu spoj – chladič. Poslední je tepelný odpor chladiče $R_{TH\ h-a}$, který třeba určit. Chladič je umístěn v prostředí s teplotou T_a .

Nejvyšší tepelný odpor se vypočte ze vzorce (2). Pokud je jako chladič použit plošný spoj je výpočet složitější, protože se musí zahrnout plocha desky a spojů, materiál desky, prokovy a jejich vlastnosti. V takových případech je možné vycházet z dokumentů výrobců, kde jsou tepelné odpory pro doporučené pájecí plošky a pro prokovy pro odvod tepla již vypočteny, viz. [8] [19] [20] [24] [25]

$$R_{TH\ h-a} = \frac{\Delta T}{P_{LED}} - R_{TH\ j-sp} - R_{TH\ sp-h} = \frac{T_j - T_a}{U_{LED} \cdot I_{LED}} - R_{TH\ j-sp} - R_{TH\ sp-h} \quad (2)$$



Obr. 2.3: Tepelné schéma chlazení LED

3 Napájení LED

3.1 Požadavky na obvody pro napájení LED

Může se vyskytnout několik případů, které mohou životnost zkrátit, zhoršit parametry diody nebo dokonce mohou způsobit zničení diody.

Prvním případem je přetížení jedním ojedinelým pulzem, který může vzniknout například při manipulaci. Je to elektrostatický výboj (aj. electrostatic discharge – ESD) nebo proudový ráz při některých přechodových jevech. Takový stav bývá nazýván elektrickým přetížením (aj. Electrical overstress – EOS). Může způsobit právě zhoršení parametrů nebo zničení diody.

To se může projevit buď zkratem nebo přerušením diody. V takovém případě je limitujícím faktorem proudová hustota čipu a vlastnosti přívodů k čipu. Velká proudová hustota může znamenat elektromigraci zvláště v místech spojení čipu s přívodními drátky. Toto může způsobit až odpojení přívodů od čipu. V případě velkého proudového pulzu může nastat přerušování přívodních drátků podobně jako u pojistky.

Dalším případem je napájení LED pomocí opakovaného pulzního proudu (pulzně-šířková modulace (aj. pulse width modulation – PWM)). Proud modulovaný PWM většinou slouží pro regulaci jasu a může, ale i nemusí způsobit zkrácení života diody. Záleží jak velký proud teče diodou v pulzu a jaký je povolený pulzní proud.

Kvůli nelineární závislosti světelného toku na proudu tekoucím diodou, se při zvyšování proudu diodou světelný tok nezvětšuje v přímé úměře ke zvětšenému proudu. Takže například při dvojnásobném proudu, není výstupní tok dvojnásobný, ale menší (s větším proudem diodou její účinnost klesá). Při buzení diody stejnosměrným a pulzním proudem o stejné střední hodnotě se tato nelinearita projevuje a dioda LED má při stejnosměrném buzení větší světelný tok než při pulzním.

Při změně proudu diodou se mění jak účinnost, tak i barevná teplota. Tato změna je v aplikacích citlivých na změny barevné teploty, například v podsvícení displejů, nežádoucí. Proto se používá pulzně-šířková modulace, u které se zajistí, že proud v každém pulzu je stejný a nezávislý na střídě. Takto se zaručí malá změna barevné teploty a zároveň je možné měnit jas změnou střídání i přes menší účinnost takového řešení.

Poslední možnost je napájení LED proudem, který je zvlněný. Takové napájení se využívá u měničů, kde je nárůst proudu omezen vhodnou indukčností. V takovém případě je proud udržován pomocí řídicí elektroniky na určité střední hodnotě, kolem které se pohybuje, zvlnění proudu diodou je stejné jako zvlnění proudu cívkou. Je to vlastně určitým způsobem zapojený měnič, který pracuje v režimu spojitých proudů. Při návrhu je potřeba dbát na to, aby maximální proud nepřekračoval hodnoty povolené výrobcem LED.

Tyto případy mohou nastat jak při manipulaci, tak i při napájení LED a je vhodné je respektovat při manipulaci a navrhovat svítidla s respektem k nim. [22]

3.2 Napájení LED a obvodové řešení napájení

Podle výše napsaného musí napájecí obvody pro LED splňovat určité elektrické vlastnosti, které pokud možno neovlivní životnost a světelné parametry LED. Dále pak, by měl mít obvod další funkce, jež souvisí s aplikací ve které bude použit, kupříkladu možnost ovládní, stmívání.

Při návrhu napájecí elektroniky a výběru vhodného obvodu je potřeba se zaměřit na několik oblastí:

- požadovaný proud LED
- závislost mezi napětím na diodách LED a napájecím napětím
- vyhodnocování teploty a funkce LED
- účinnost
- spotřeba ve vypnutém stavu
- stmívání a způsob stmívání

- typ a počet LED v sérii (řetězci) počet takovýchto řetězců
- potřeba a způsob komunikace s nadřazeným systémem
- potřeba vyhodnocování dalších parametrů
- celkové rozměry a cena

Uvedený seznam zohledňuje několik z požadavků a parametrů napájecí elektroniky, které je potřeba při návrhu uvažovat. Seznam dále rozepíšu a uvedu několik příkladů integrovaných obvodů (IO), které tyto požadavky nějakým způsobem realizují.

Prvním zmíněným parametrem je požadovaný proud LED. Proudem se určuje hodnota světelného toku z každé diody. Závislost světelného toku na proudu uvádí výrobce LED u každého typu diody v katalogovém listu, stejně jako závislost změny světelného toku na teplotě. Každá dioda má změřených několik parametrů, podle kterých jsou výrobcem rozděleny do několika výkonnostních kategorií. Jak podle světelného toku při daném proudu, tak podle barevné teploty pro bílé či dominantní vlnové délky pro barevné LED. Některé jsou rozděleny i podle napětí v propustném směru.

Výsledný požadovaný světelný tok je dán proudem diodou a jejich počtem, teplotou čipu a použitou optickou soustavou. Při návrhu je třeba stanovit potřebný výstupní světelný tok, dále zjistit proud diodami. Buď se proud stanoví kvůli dosažení potřebné účinnosti nebo se vypočte a podle toho se určí potřebný počet diod LED. Podle proudu se napájecí elektroniky většinou dělí do skupin pro malé proudy a velké proudy diodami LED. Striktní hodnotu proudů pro každou skupinu nelze stanovit, ale dělení je stanoveno podle aplikace ve které se daný obvod používá. [11]

Další parametr je závislost mezi napětím na diodách LED a napájecím napětím. Tímto se určí potřebná topologie případného měniče, buď zvyšovací (aj. Boost, Step-up), snižovací (aj. Buck, Step-down) nebo kombinace zvyšovacího a snižovacího (aj. Buck-Boost, SEPIC, Flyback). Pokud je napájecí napětí větší než napětí na LED, pak i lineární regulátor může být dobrou volbou.

Lineární regulátor je oproti spínanému měniči většinou jednodušší, potřebuje méně místa na desce díky menšímu počtu potřebných součástek. Dále pak téměř nevyzařuje elektromagnetické rušení (aj. Electromagnetic Interference – EMI) a dokáže dodávat potřebný výstupní proud dokud je napětí na zdroji V_{IN} větší než součet napětí na diodách plus minimální úbytek na regulačním členu (3).

$$U_{IN\ MIN} = U_{LED} \cdot n + U_D \quad (3)$$

kde	$U_{IN\ MIN}$	je nejmenší napájecí napětí pro potřebný výstupní proud	[V]
	n	počet LED	[-]
	U_D	minimální úbytek na regulačním členu	[V]

Nevýhodou je výkonová ztráta, která v případě větších výstupních proudů a velkého rozdílu V_{IN} a napětí na LED je taková, že již vyžaduje chlazení regulačního členu nebo obvodu. Použitím spínaného měniče je možné dosáhnout lepší účinnosti, avšak tyto vyzařují elektromagnetické záření a většinou obsahují více součástek. Rozměry na desce záleží na spínací frekvenci. Pro malé proudy je možné dosáhnout při vyšších frekvencích rozměrů srovnatelných nebo i menších než s lineárními regulátory.

S volbou daného způsobu napájení souvisí i účinnost. Účinnost je důležitá zejména v

aplikacích, které jsou napájeny bateriemi a kde není možné další vznikající teplo odvádět do okolí. S účinností je spjata i spotřeba ve vypnutém stavu. Ta je důležitá jak u bateriově napájených zařízení, tak i u dalších zařízení, kde je potřeba mít co nejmenší spotřebu. To je v dnešní době zvyšujících se cen energií jeden z důležitých aspektů pro síťově napájené spotřebiče.

V některých aplikacích je potřeba měřit teplotu LED a vyhodnocovat jejich stav. Některé obvody pro napájení diod přímo měří jejich teplotu a při překročení omezí proud diodami. Avšak některé slouží jen k napájení a teplotu měří řídicí obvod, který podle této případně upravuje proud přes LED. Vyhodnocování stavu je nutné v aplikacích, kde je potřeba vyhodnocovat funkčnost diod a v případě jejich nefunkce vyvolat stav poruchy nebo například zapnout náhradní LED.

Regulaci světelného toku je možné dosáhnout vhodným stmíváním. U napájecích obvodů je regulace jasu řešena několika možnostmi. Efektivním způsobem je pulzně-šířková modulace, která je má dobrou účinnost a nezpůsobuje změny v barevném podání. Dalším způsobem je prostá regulace výstupního proudu. Vstupem je například změna odporu nebo změna referenčního napětí. Avšak změnou proudu se mění barevné podání. Některé obvody určené pro napájení LED ze síťového napětí umožňují regulaci jasu pomocí fázové regulace, která se používá pro napájení světelných zdrojů se žárovkami. [2]

Některé obvody mají více výstupů pro napájení několika světelných řad, většinou sériově zapojených LED. Ty mohou být použity v osvětlovacích aplikacích, kde je potřeba velký světelný tok a ten se získává z většího množství diod. Nebo se používají v podsvíceních displejů, kde je potřeba dosáhnout rovnoměrného podsvícení. Proto je v takových případech důležité, aby každou řadou LED protékal stejný proud. Při výběru vhodného obvodu je potřeba se zaměřit na počet takovýchto řad a napětí každé řady.

Komunikace s nadřazeným systémem se používá ve větších systémech, kdy je potřeba monitorovat funkci LED a zároveň nastavovat některé parametry. V jednodušších aplikacích stačí monitorovat funkci nebo teplotu LED a to většinou pomocí jednoho daného vývodu IO pro napájení LED.

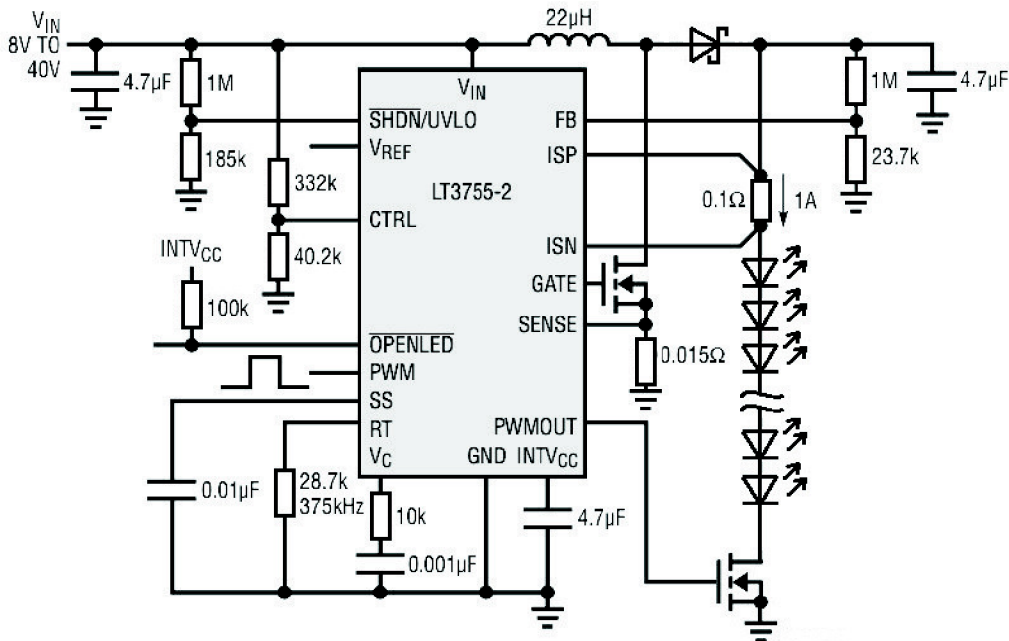
Složitější aplikace používají k monitorování, buď některé používané sběrnice (např. SPI, I²C) nebo monitorovací obvody, které stav LED monitorují například ve spínacím cyklu pulzně-šířkové modulace a tyto poté vysílají buď bezdrátově (např. ZigBee) nebo drátově (např. Ethernet, DMX512, Power Line). Power Line znamená, že se dané data přenášejí přes napájecí vodiče ke svítidlu.

V určitých případech je potřeba sledovat například okolní osvětlení a podle toho pak regulovat jas, což je typické pro bateriově napájené zařízení. To se většinou řeší přes snímač osvětlení, který komunikuje s řídicím systémem a ten například upravuje podsvícení displeje podle úrovně okolního osvětlení, pro dosažení dobré čitelnosti a úspory baterie.

Rozměry a cena závisí na všech potřebných možnostech a vlastnostech. Rozměry se dají ovlivnit způsobem napájení, tedy volbou lineárního nebo spínaného regulátoru. U spínaného měniče zejména spínací frekvencí. Cena závisí na použitých součástkách, možnostech zapojení a potřebných funkcích. Použitím součástek s lepšími parametry, dobrým návrhem a důkladným testováním, lze dosáhnout dobré životnosti napájecí elektroniky. To většinou navýší cenu svítidla. [9] [10] [21]

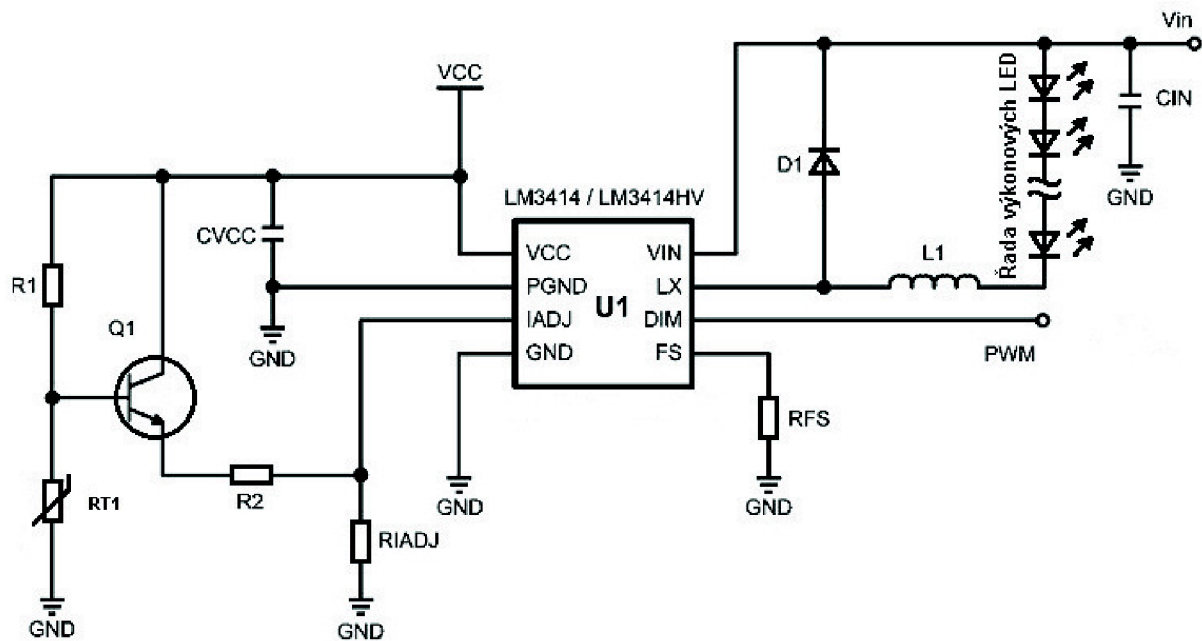
3.3 Příklady obvodů

Prvním příkladem je obvod **LT3755** firmy Linear Technology. Jedno z možných zapojení je na Obr. 3.1. Zapojení funguje jako zvyšovací měnič, který zvyšuje napětí z napájecí sítě automobilu na napětí vyšší, potřebné pro napájení řady LED. Mimoto může být obvod zapojen i ve většině dalších používaných topologiích (Buck, Buck-Boost, SEPIC, Flyback). Může fungovat v režimu konstantního proudu nebo i konstantního napětí, což může být použito k nabíjení akumulátorů nebo k ochraně součástek v případě přerušení řetězce LED. V takovém případě je sepnut tranzistor uvnitř obvodu a na výstupu OPENLED je nízká logická úroveň. Proud diodami se měří na vstupech ISP a ISN mezi které je zapojen měřicí odpor. Úbytek na tomto odporu je 100 mV a je možné ho zmenšit nastavením daného napětí na vstup CTRL menšího než 1,2 V. Tímto se dá regulovat výstupní proud, jakož i výsledný světelný tok a to buď kvůli stmívání nebo kvůli teplotní ochraně (RT1). Světelný tok diod je možné regulovat i pomocí pulzně-šířkově modulovaného signálu přivedeného na vstup PWM. Pomocí vstupu SHDN/UVLO je možné obvod uvést do úsporného stavu, buď pro omezení spotřeby ve vypnutém stavu nebo pro zamezení hlubokého vybití napájecích baterií. Účinnost uvedeného zapojení je nad 90 % v celém rozsahu napájecích napětí. [14]



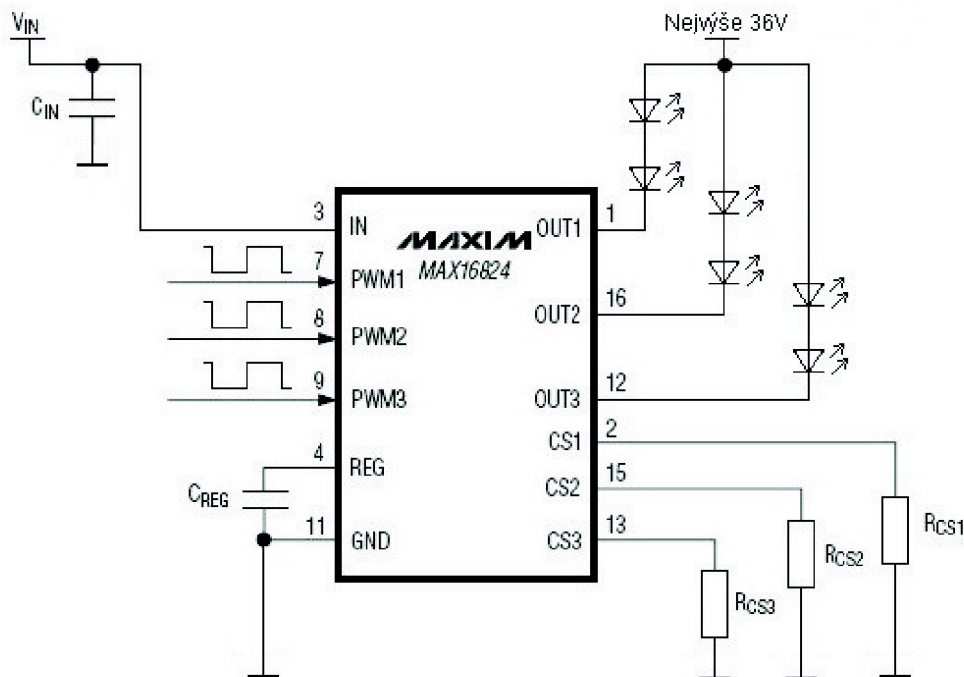
Obr. 3.1: Napájecí obvod pro napájení 50W LED světlotetu s LT3755 [21]

Dalším obvodem je **LM3414** firmy Texas Instruments (Obr. 3.2), pracuje pouze jako snižující měnič. Obvod funguje podobně jako běžné měniče pracující v režimu spjitých proudů s tím, že zátěž (diody LED) je zapojena ve smyčce s cívkou. Takže diodami LED teče zvlněný proud o potřebné střední hodnotě, která přibližně udává výsledný světelný tok. Při návrhu se zvolí přípustné zvlnění, aby nebyl překročen maximální proud LED a vypočte se indukčnost cívky. Obvod umožňuje nastavení střední hodnoty proudu pomocí odporu zapojeného na vývod IADJ (ve skutečnosti je proud LED závislý na proudu tekoucím z tohoto vývodu). Takto je možné obvod vylepšit i o teplotní omezení, jehož možné zapojení je uvedeno na Obr. 3.2 z katalogového listu. Obvod obsahuje snímací rezistor i spínací tranzistor, takže zapojení je jednoduché a zabírá málo místa na desce. Pomocí PWM signálu přivedeného na vstup DIM je možné regulovat jas diod. [13]



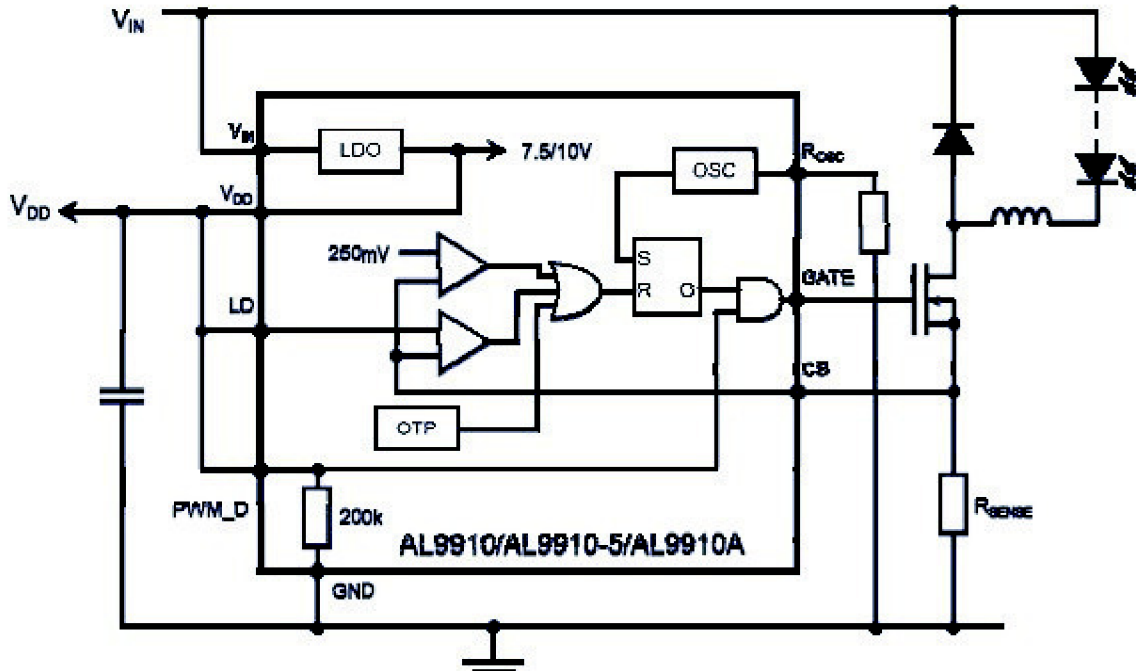
Obr. 3.2: Zapojení obvodu LM3414 [13]

Obvod **MAX16824** firmy Maxim Integrated Products je lineární napáječ LED (Obr. 3.3). Napájecí napětí proto musí být větší než napětí na řadě LED, regulačním prvku a snímacím odporu. Obvod obsahuje tři samostatné kanály. Proud každým se nastavuje snímacím rezistorem zapojeným mezi patričný vývod CS1 až CS3, kdy je na tomto úbytek 200 mV. Mezi tímto vývodem a vývodem OUT1 až OUT3 je regulační prvek – MOS-FET, který je řízen tak, aby byl výstupní proud přes danou řadu LED konstantní. Světelný tok je možné regulovat pro každý kanál samostatně PWM signálem přivedený na korespondující vstup PWM1 až PWM3. [17]



Obr. 3.3: Lineární zdroj pro LED s MAX16824 [17]

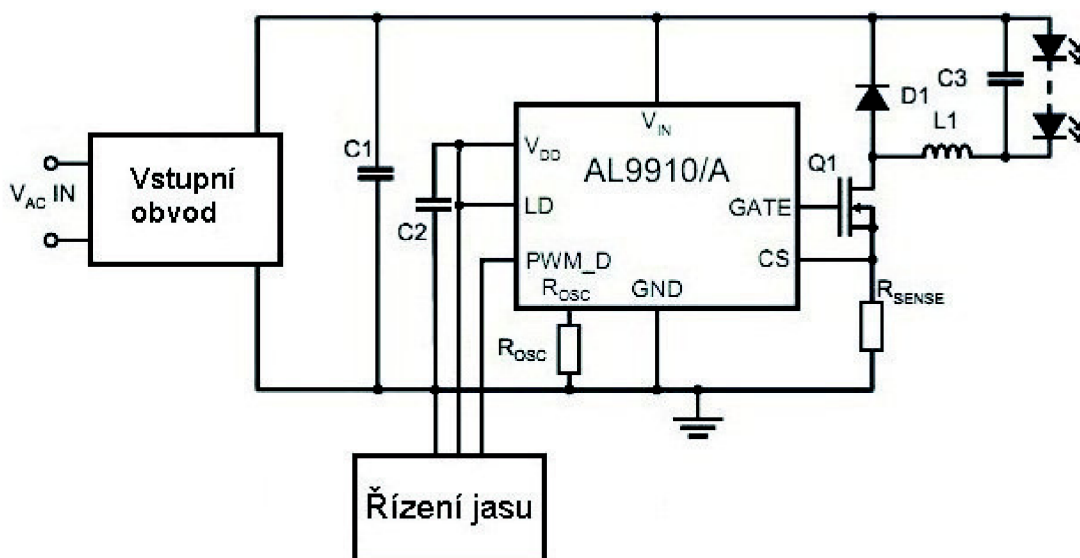
Posledním obvodem je **AL9910** (Obr. 3.4). Obvod obsahuje většinu potřebných částí, jako je měření a regulace proudu přes externí odpor (vstup CS), řízení jasu a ovládání spínacího prvku. Spínací MOS-FET je umístěn mimo obvod (výstup GATE). Dále obsahuje vstup pro PWM stmívání (PWM_D), který přivedením na zem vypne obvod a přivedením na V_{DD} AL9910 zapne. A vstup pro analogové stmívání (LD).



Obr. 3.4: Blokové schéma obvodu AL9910

4 Řešení práce

Zde je ukázáno konkrétní řešení této práce. Jak již bylo výše uvedeno, zapojení vychází z obvodu AL9910, který je právě vhodný pro napájení diod LED. Zjednodušené schéma je na Obr. 4.1.

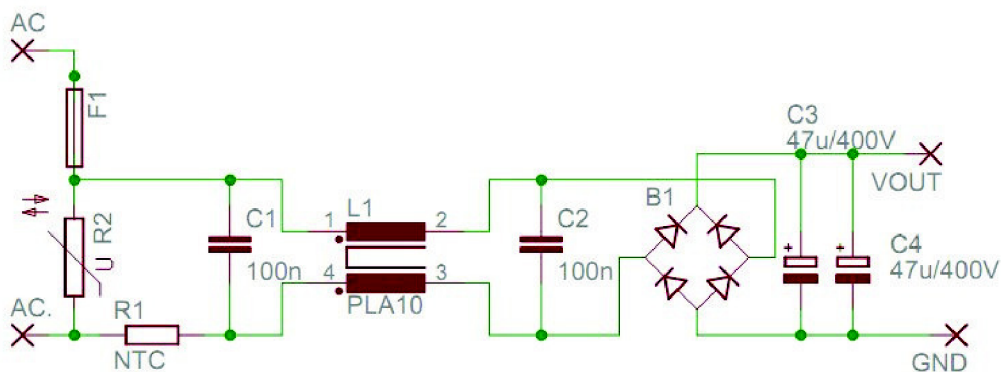


Obr. 4.1: Schéma obvodu s AL9910

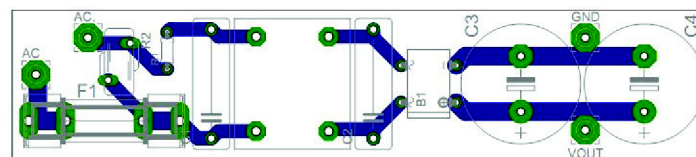
Obvod je rozdělen na několik částí. Vstupní obvod obsahuje filtr, usměrňovač a hlavní filtrační kondenzátory. Filtr je umístěn na samostatné desce ze skloepoxidového laminátu, kvůli nutnosti použít vývodové součástky. Řídící elektronika je na samostatné desce z obdobného materiálu. Hlavní část obvodu, tedy vlastní napájecí obvod i s diodami LED, je umístěna na plošném spoji s izolovaným kovovým jádrem, kvůli odvodu tepla.

4.1 Vstupní obvod

První částí je vstupní obvod, který obsahuje jak filtr kvůli omezení rušení (C1, L1 a C2), tak i usměrňovač a filtrační kondenzátory (B1, C3 a C4). Navíc obsahuje ochranné prvky, tedy termistor R1 pro omezení špičkového proudu při zapnutí, varistor R2 pro ochranu před přepětím a pojistku F1. Schéma filtru je na Obr. 4.2 a deska na Obr. 4.3.



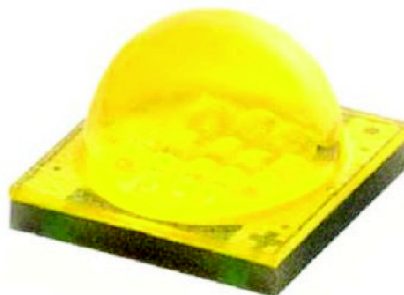
Obr. 4.2: Schéma zapojení filtru



Obr. 4.3: Deska plošných spojů filtru (měřítko 1:1)

4.2 Diody LED

Jako světelný zdroj jsou použity diody LED firmy Cree XM-L High Voltage Obr. 4.4. Tyto diody obsahují v pouzdře několik diod v sérii a pro jejich napájení není potřeba velký proud. To je výhodné zvláště pro síťově napájené svítidla. Jedna dioda má napětí v propustném směru typicky 46 V, při 44 mA a teplotě 85°C.



Obr. 4.4: XM-L High Voltage

Použité diody svítí v neutrálním odstínu – teplota chromatičnosti od 3700 K po 5000 K. Diody v teplejším odstínu mají všeobecně horší účinnost. Naopak diody ve studeném odstínu mají účinnost přeměny elektrické energie na světlo lepší, ale nejsou vhodné pro osvětlování domácností. Kvůli světelné pohodě se do obytných prostor doporučují světla s neutrálním nebo teplým světelným odstínem. Neutrální odstín je rovněž podobný slunečnímu světlu při jasné obloze, což může působit přirozeně.

Vybral jsem LED z nejlepší dostupné výkonnostní skupiny, které mají 200 lm při 44 mA a teplotě na čipech 85 °C. Konkrétní odstín leží mezi 3750 K a 3875 K a je velice příjemný. Svítí neutrálně s lehkým nádechem do žluté. Zapojeny jsou tři diody v sérii.

Celkový světelný tok ze všech diod po ohřátí je:

$$\Phi = n \cdot \Phi_{LED} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ lm} \quad (4)$$

kde Φ je celkový světelný tok [lm]
 Φ_{LED} světelný tok jedné LED [lm]

Minimální počáteční světelný tok pro náhradu 40 W žárovky je, podle Energy Star, 450 lm pro všesměrové lampy. Dalším limitem je účinnost. Ta musí být minimálně 50 lm/W pro světla o výkonu do 10 W a 55 lm/W pro výkonnější svítidla. V případě, že napájecí elektronika má 85% účinnost, pak je celkový příkon 7,14 W (5).

$$P = \frac{n \cdot U_{LED} \cdot I_{LED}}{\eta_{EL}} = \frac{3 \cdot 46 \cdot 0,044}{0,85} = 7,14 \text{ W} \quad (5)$$

kde P je celkový příkon [W]
 η_{EL} účinnost napájecí elektroniky [-]

Výsledná účinnost je 84,03 lm/W (6) a splňuje limit Energy Star. V případě použití optického členu, který by upravoval světelný paprsek na požadovaný tvar, by se musela započítat i jeho účinnost. [4] [7]

$$\eta_{CEL} = \frac{\Phi}{P} = \frac{600}{7,14} = 84,03 \text{ lm/W} \quad (6)$$

kde η_{CEL} je celková účinnost [lm/W]

4.3 Hlavní část – zdroj proudu

Hlavní část obvodu obsahuje již zmíněný AL9910, který v sobě slučuje většinu potřebných částí pro konstrukci zdroje proudu, viz. Obr. 3.4. Napájecí napětí VIN je stabilizováno vnitřním stabilizátorem LDO na 7,5 V. Toto napětí je přivedeno na výstup VDD, kde je umístěn filtrační kondenzátor C1. Současně je vyvedeno z desky pro napájení řídicího obvodu. Protože obvod obsahuje lineární stabilizátor a potřebné napětí reguluje z plného napájecího, je vhodné umístit do série se vstupem VIN srážecí odpor R5, který část výkonu spotřebuje. Je vhodné, aby řídicí elektronika měla co nejmenší vlastní spotřebu. AL9910 je zapojen jako regulátor s konstantní dobou vypnutí, proto je časovací odpor R3 zapojen na výstup obvodu GATE. To umožní, že střída může být větší než 50 %. Pomocí výstupu GATE se řídí spínací tranzistor MOS-FET. Proud diodami LED je snímán odporem R1 a je přiveden na vstup CS.

Po připojení napájení se spustí LDO regulátor a je sepnut spínací tranzistor. Proud diodami LED, indukčností, spínacím tranzistorem a snímacím rezistorem začne narůstat. Jakmile napětí na R1 vzroste nad 250 mV je tranzistor vypnut. Úroveň je možné snížit zapojením vstupu LD na zdroj s napětím menším než 250 mV. Tímto způsobem je možné vytvořit analogovou regulaci proudu. Po určité době dané odporem R3 je tranzistor znova sepnut. Potřebná doba rozepnutí se spočte jako:

$$t_{off} = \left(1 - \frac{n \cdot U_{LED}}{U_{IN(NOM)}}\right) \cdot \frac{1}{f_{OSC}} = \left(1 - \frac{138}{325}\right) \cdot \frac{1}{118000} = 4,88 \mu s \quad (7)$$

kde t_{off} je doba rozepnutí [μs]
 $U_{IN(NOM)}$ nominální vstupní napětí [V]
 f_{OSC} frekvence spínání [Hz]

Z této doby se vypočte odpor R3:

$$R3 = t_{off} \cdot 25 - 22 = 4,88 \cdot 25 - 22 = 99,98 \text{ k} \Omega \quad (8)$$

kde R3 je počítaný odpor [kΩ]

Dále se vypočte hodnota snímacího odporu R1:

$$R1 = \frac{0,25}{I_{LED} + (0,5 \cdot (\Delta I_{LED}))} = \frac{0,25}{0,044 + (0,5 \cdot (0,3 \cdot 0,044))} = 4,94 \Omega \quad (9)$$

kde R1 je počítaný odpor [Ω]
 ΔI_{LED} zvlnění proudu LED (30% I_{LED}) [A]

Hodnota odporu R1 se použije z řady vyráběných hodnot, tedy 4,7 Ω. Pak se proud diodami zvýší na přibližně 46 mA.

A nakonec se vypočte hodnota indukčnosti:

$$L1 \geq \frac{(U_{IN(NOM)} - n \cdot U_{LED}) \cdot D}{\Delta I_{LED} \cdot f_{OSC}} = \frac{(U_{IN(NOM)} - n \cdot U_{LED}) \cdot U_{LED}}{\Delta I_{LED} \cdot f_{OSC} \cdot U_{IN(NOM)}} = \frac{(230 \cdot \sqrt{2}) - 3 \cdot 46}{0,3 \cdot 0,046 \cdot 118000 \cdot 230 \cdot \sqrt{2}} \cdot 3 \cdot 46 = 48,79 \text{ mH} \quad (10)$$

kde L1 je počítaná indukčnost [mH]
D střída – poměr U_{LED} ku $U_{IN(NOM)}$ [-]

Indukčnost se vybere z řady vyráběných a dostupných hodnot. Musí se zároveň uvažovat i proudová zatížitelnost. Výběr vhodných cívek takto velkých hodnot je již dost omezený. Proto jsem zvolil menší hodnotu než vypočtenou, ačkoli by měla být větší, tedy 47 mH. Použitím menší indukčnosti se zvětší zvlnění proudu.

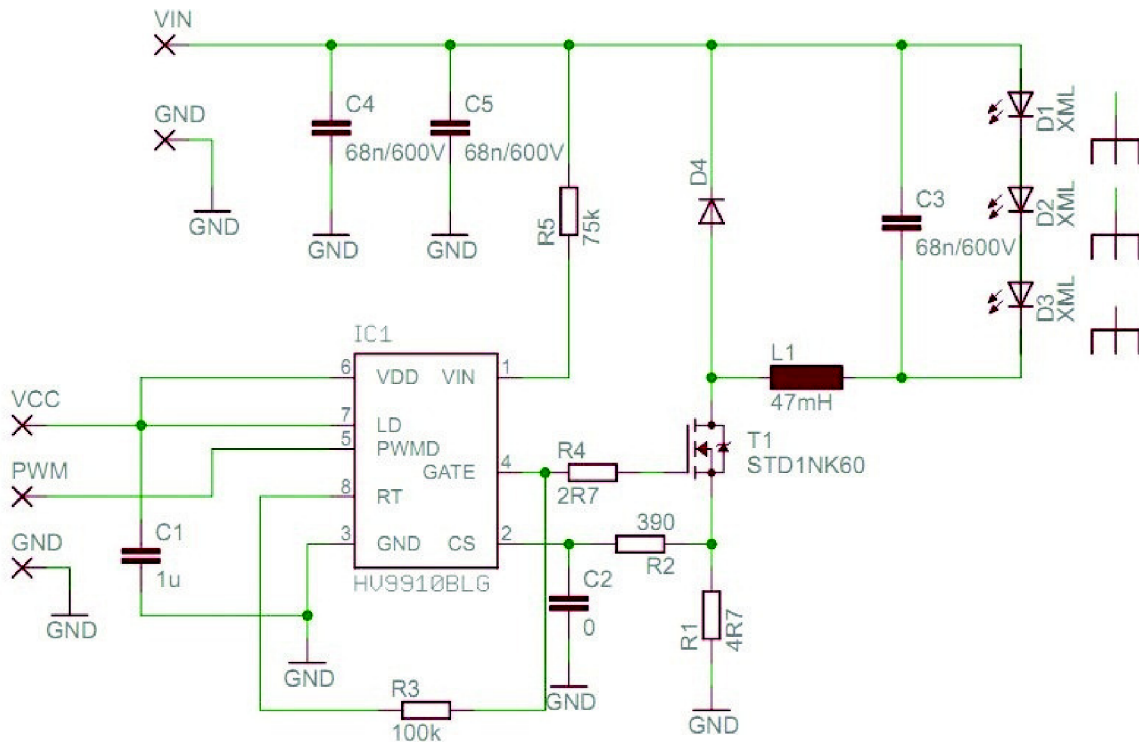
Spínací frekvenci jsem volil 118 kHz, kvůli výběru odporu R3, jehož hodnotu jsem zvolil 100 kΩ. Vzhledem k omezenému výběru indukčnosti by bylo vhodné spínací frekvenci zvýšit. Tím by se dosáhlo zmenšení zvlnění proudu anebo zmenšení hodnoty indukčnosti.

Spínací frekvence se mění podle pracovních podmínek, zejména napájecího napětí a napětí na diodách LED. To může mít několik výhod, například zlepšení účinnosti při nízkém

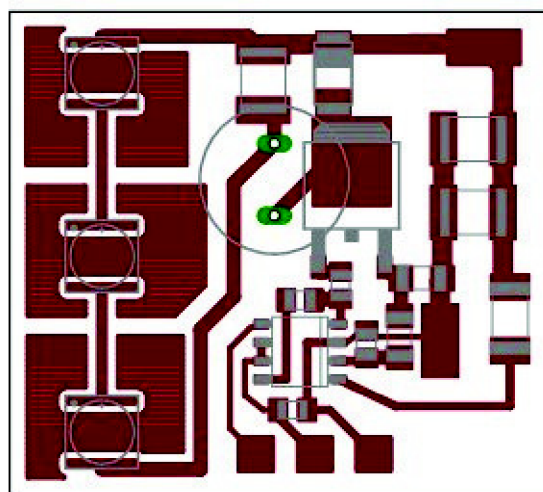
napájecím napětí nebo rozložení rušení do širšího pásma frekvencí.

V tomto zapojení je využita PWM regulace, která nezpůsobuje změny v barevném podání. Pomocí vstupu PWM je možné zapnout (log. 1) a vypnout (log. 0) spínací tranzistor. Na vstup PWM je přiveden signál z obvodu pro řízení jasu. [1]

Na Obr. 4.5 je konečné schéma zapojení. Na Obr. 4.6 je deska plošných spojů, která je realizována na plošném spoji s hliníkovým základním materiálem. Kvůli nedostupnosti vhodné cívky v SMD provedení je použita vývodová s tím, že je ohnuta kolmě k desce plošných spojů (Obr. 4.11).



Obr. 4.5: Schéma zapojení hlavní části



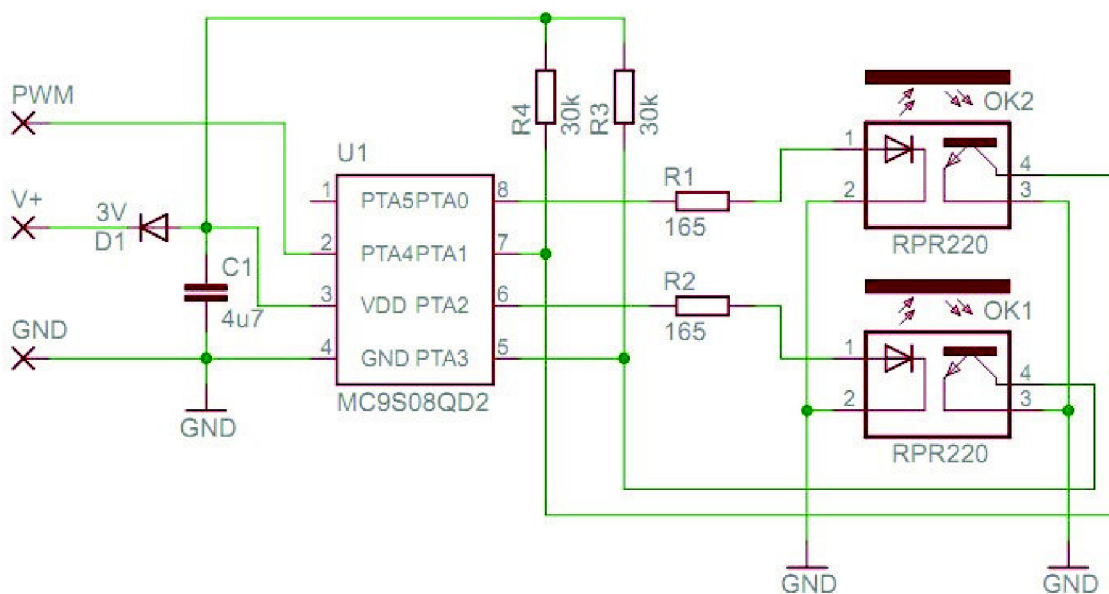
Obr. 4.6: Deska plošných spojů hlavní části (měř. 2:1)

4.4 Řídící část

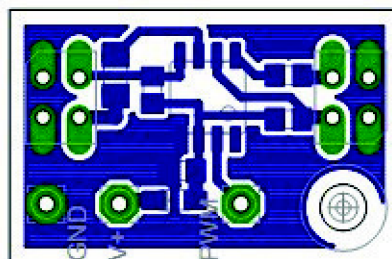
Poslední částí je řídicí část, která pomocí PWM řídí jas diod LED hlavní jednotky. Zapojení je na Obr. 4.7, deska plošných spojů je na Obr. 4.8. Sestává s mikroprocesoru U1, jež řídí reflexní optočleny OK1 a OK2 a generuje PWM signál v několika krocích. Spotřeba řídicí části musí být co nejmenší, kvůli omezení výkonové ztráty v hlavní části.

Mikroprocesor na výstupu PTA0 generuje krátké pulzy, které rozsvítí LED v optočlenu. V průběhu každého pulzu se počká, než se rozsvítí LED a zareaguje fototranzistor. Doba čekání je nastavena na 175 μ s a byla zjištěna experimentálně. Poté dojde ke změření napětí na vstupu PTA1 AD převodníkem a výpočtu průměrné hodnoty. Totéž se pak stane i na vývodech PTA2 a PTA3. Pokud se k nějakému z optočlenů přiblíží prst nebo nějaký objekt, dojde k otevření daného optočlenu a ve výsledku zmenšení průměrné hodnoty.

Následně se porovnají průměrné hodnoty obou spínačů a pokud je jedna z nich menší o 20% než druhá, dojde ke změně hodnoty vnitřního čítače. Tímto se zajistí jednoduché automatické nastavení prahové hodnoty a zamezí se případným přechodům při zastíněných obou optočlenech. Vnitřní čítač má 10 kroků od 1 po 10. Signál PWM je generován na výstupu PTA4 pomocí mocninné závislosti x^2 , takže jas se reguluje od 1% do 100% hodnoty. Tím se zajistí lepší průběh jasu v závislosti na daném kroku oproti lineárnímu průběhu. Oko má totiž logaritmickou citlivost na jas.



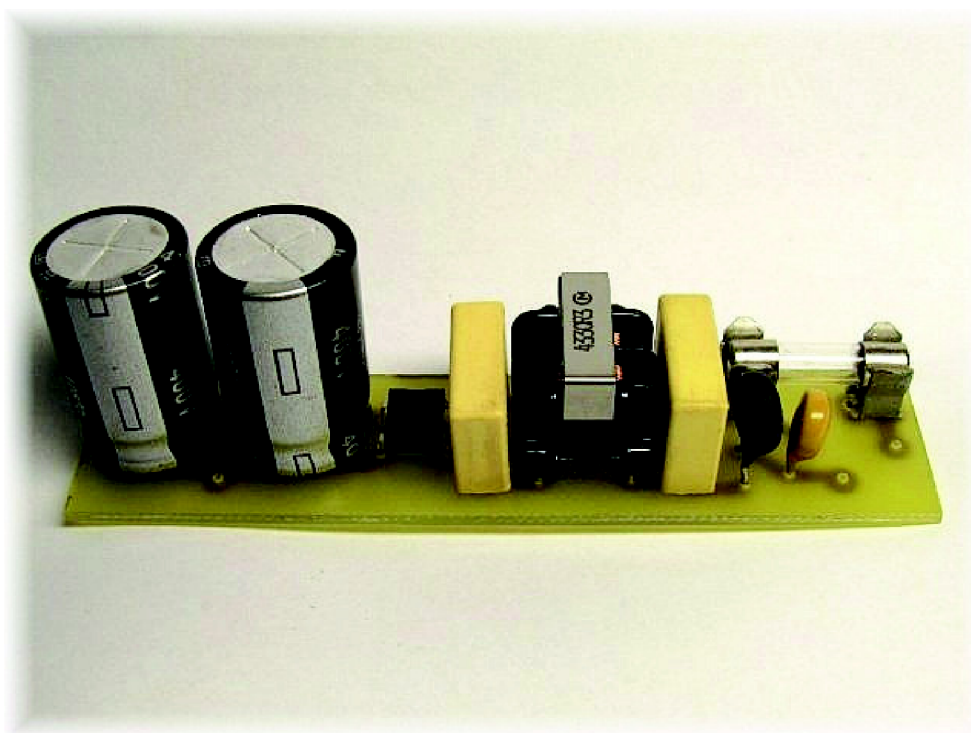
Obr. 4.7: Schéma zapojení řídicí části



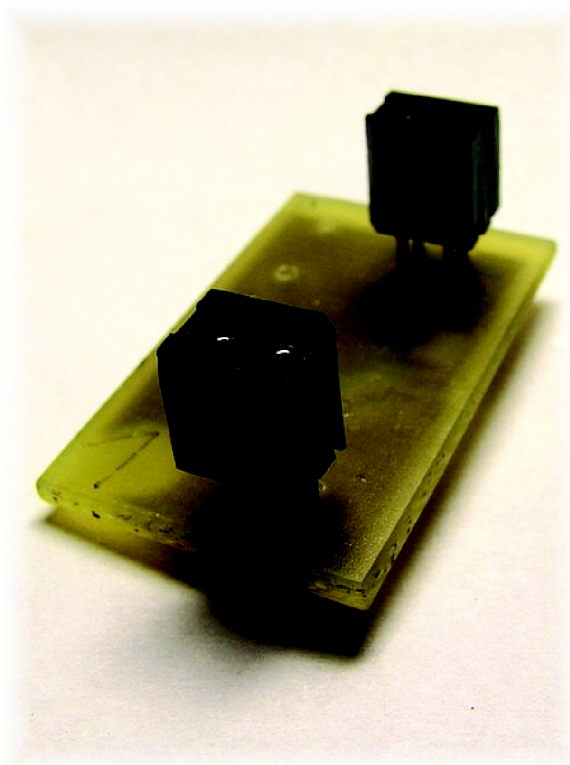
Obr. 4.8: Deska plošných spojů řídicí části (měř. 2:1)

4.5 Měření

Na vyrobeném vzorku byly proměřeny některé parametry. Zprvu byla ověřena funkčnost a následně byly proměřeny některé průběhy. Na Obr. 4.9 je fotografie filtru.



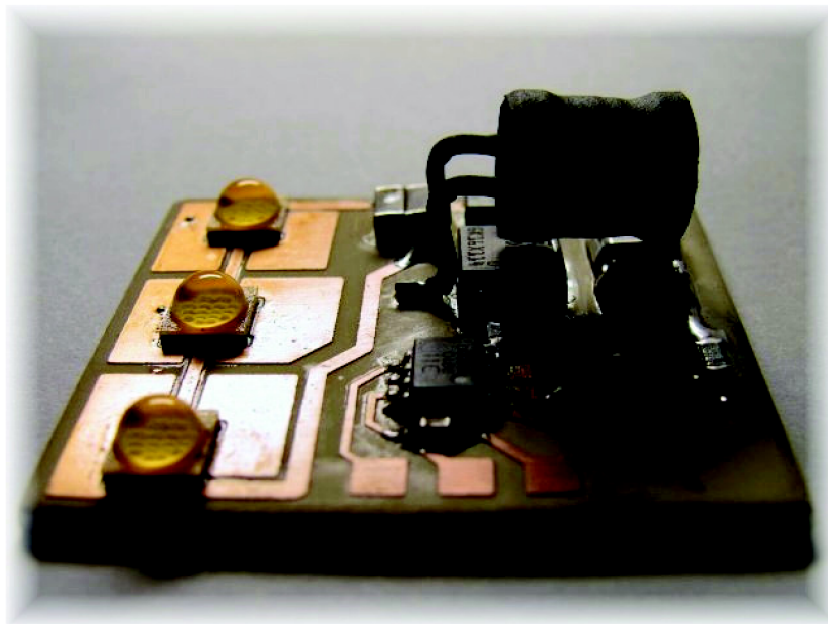
Obr. 4.9: Filtr



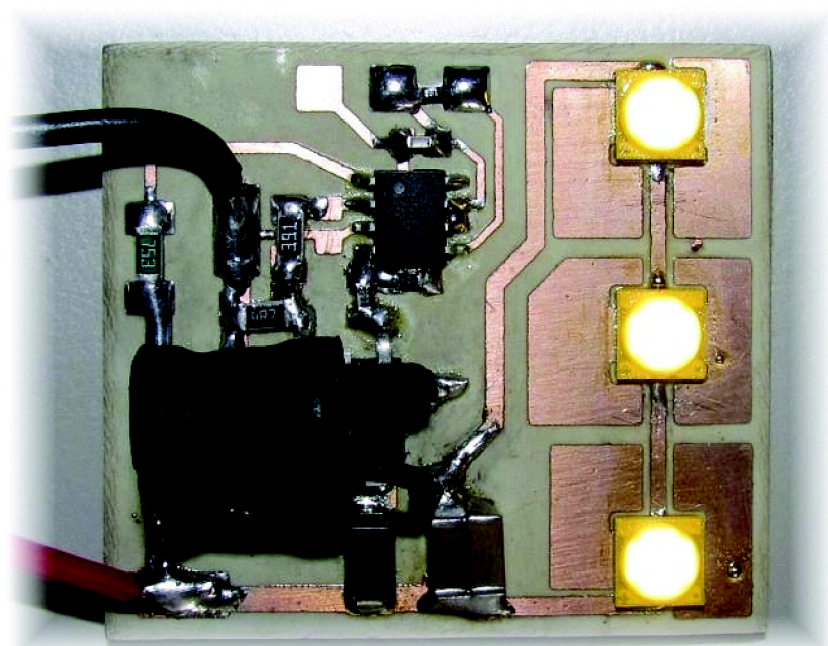
Obr. 4.10: Řídící část

Na Obr. 4.10 je řídicí část, detail na optočleny. Přiblížením prstu k jednomu nebo druhému optočlenu se přechází přes jednotlivé stavy. Buď se výsledná střída PWM signálu a tím i jas diod LED zvyšuje nebo snižuje. Optočleny detekují přiblížení prstu do 1 cm od jejich přední strany. To dává možnost použít krycí sklo. Je možné použít i tmavé sklo, které propouští jen infračervené záření. Funkčnost byla vyzkoušena i s 2 mm tlustým sklem. Pokud se před snímači objeví nějaký reflexní materiál, zvýší se citlivost řádově až na desítky centimetrů.

Další obrázek Obr. 4.11 již ukazuje na realizovanou hlavní část. Je vidět zvláště umístění cívky. Na následujícím obrázku Obr. 4.12 je horní pohled na hlavní část s rozsvícenými diodami LED.



Obr. 4.11: Hlavní část



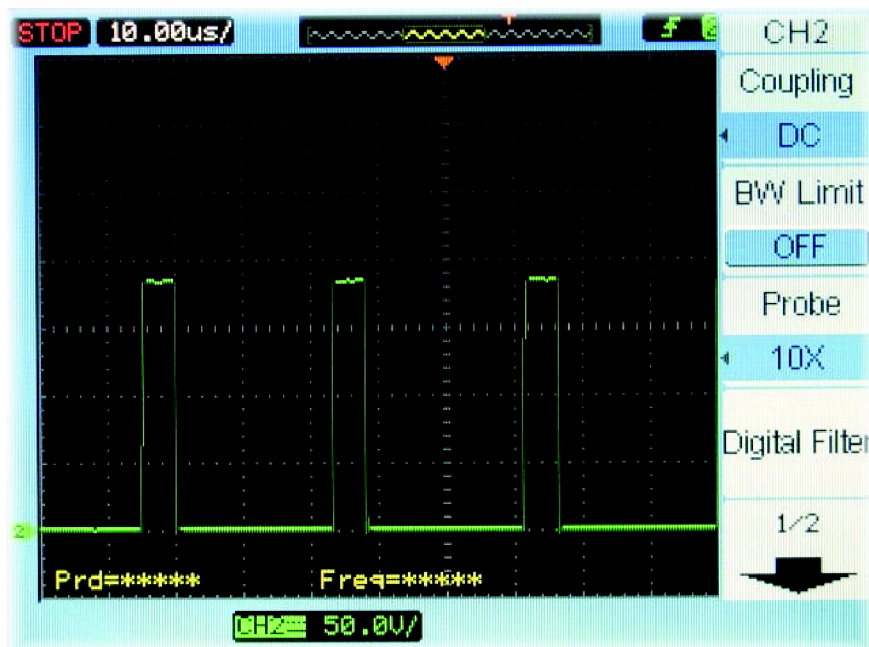
Obr. 4.12: Hlavní část, horní pohled, rozsvícené diody LED

Průběh napětí na snímacím odporu R1 je na Obr. 4.13. Je vidět, že proud cívkou se pohybuje od 42,5 mA, kdy je sepnut MOS-FET po 53,2 mA, v případě jeho rozeptnutí.



Obr. 4.13: Napětí na snímacím odporu R1

Napětí na spínacím tranzistoru U_{D-S} je na Obr. 4.14. Napájecí napětí je v tomto případě 200 V stejnosměrných připojených přímo k hlavní části. V části, kde je napětí blízké nule, je spínací tranzistor sepnut a proud cívkou stoupá. Při dosažení 250 mV na snímacím odporu R1 ($4,7 \Omega$), je tranzistor rozeptnut, viz. Obr. 4.13. Proud pak teče diodou D4 a klesá na hodnotu 42,5 mA. Dooba rozeptnutí odpovídá vypočtené hodnotě ($4,88 \mu s$). Po této době je tranzistor znova sepnut.



Obr. 4.14: Napětí U_{D-S} na spínacím tranzistoru

Oteplení nebylo měřeno. To by se měřilo přímo ve svítidle. Podle teplot by se pak zvolilo vhodné chlazení nebo by se snížil proud diodami LED.

5 Závěr

V práci jsem se zaměřil na popis funkce diody LED, její životnost a vlivy, které ji ovlivňují. Popsal jsem měření životnosti a zjednodušený návrh chlazení LED. Poukázal jsem na vlastnosti napájecích obvodů vhodných pro napájení LED. Nakonec jsem ukázal návrh svítidla a několika výkonovými diodami LED.

Konstrukce diod LED je závislá od jejich výkonu. Proto výkonové diody jsou navrženy pro odvod tepla, které v nich i přes stále se zvyšující účinnost, vzniká. A právě teplo ovlivňuje životnost LED podstatným způsobem, proto je potřeba při návrhu uvažovat i jejich chlazení.

Ovšem i v případě nejnepříznivějších podmínek má dioda LED dlouhou životnost (v porovnání s jinými světelnými zdroji). Proto se při měření životnosti častokrát měřená data extrapolují. Měření celé doby života by bylo jak časově náročné, tak i neekonomické. V současnosti je vývoj těchto diod natolik rychlý, že než dojde k proměření životnosti, tak už jsou na trhu nové diody.

Napájení diod LED je odlišné od napájení jiných zdrojů světla. Pro zajištění neměnného světelného toku je potřeba je napájet konstantním proudem. Proto jsou pro napájení LED uváděny na trh nové obvody, které tento požadavek splňují. Při návrhu napájecího obvodu je potřeba zvážit několik dalších požadavků, které jsem uvedl v kapitole 3. Zajímavostí může být i situace, kdy samotné diody LED mohou mít delší životnost než samotný napájecí zdroj.

V závěru práce je popsáno svítidlo, využívající obvod AL9910. Celé svítidlo je rozděleno do tří částí. První je vstupní filtr a usměrňovač. Další, hlavní část, zajišťuje napájení diod LED konstantním proudem. Zde jsou obsaženy i samotné diody LED. Kvůli chlazení je hlavní část osazena na plošném spoji s hliníkovým základem. Poslední je řídicí část, která zajišťuje regulaci jasu.

Navržený a realizovaný obvod splňuje požadavky uvedené v popisu obvodů. Zvláště proud diodami LED je regulován na konstantní hodnotu. Při zkoušení vzorku se zjistilo, že hliníková deska plošných spojů není dostačující k chlazení a při případné konstrukci je potřeba ji chladit montáží na tělo svítitelny anebo chladič.

6 Seznam literatury

- [1] *AL9910/AL9910A/AL9910-5* [online]. Diodes, Inc. [vid. 2012-3-2]. Dostupné z: http://www.diodes.com/datasheets/AL9910_A.pdf
- [2] BIANCO, Piero. *LEDs for General Lighting* [online]. Maxim Integrated Products, Jun 27, 2011. [vid. 2011-12-01]. Dostupné z: <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN4670.pdf>
- [3] *Cree® XLamp® Long-Term Lumen Maintenance* [online]. Cree, Inc. c2010. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: http://cree.com/products/pdf/XLampXR-E_lumen_maintenance.pdf
- [4] *Cree® XLamp® XML- HVW LEDs* [online]. Cree, Inc. February 2012. [vid. 2012-2-29]. Dostupné z: http://www.cree.com/products/pdf/XLampXM-L_HVW.pdf
- [5] DOWLING, Kevin. *Lumen Maintenance* [online]. Testing Procedures SSL Committee, Oct. 30, 2008. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lm80-webcast_10-30-08.pdf
- [6] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje: světelné diody. *Světlo*, č. 5, 2009. s. 68-71. ISSN 1212-0812. [vid. 2011-11-16]. Dostupné též z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39810.pdf>
- [7] *ENERGY STAR® Program Requirements for Integral LED Lamps* [online]. U.S. Environmental Protection Agency. March 22, 2010. [vid. 2012-3-1]. Dostupné z: http://www.energystar.gov/ia/partners/product_specs/program_reqs/ILL_prog_reqs.pdf?5217-d41d
- [8] HUBER, Rainer. *Thermal Management of Golden DRAGON LED* [online]. Osram Opto Semiconductors GmbH. October, 2008. [vid. 2011-11-15]. Dostupné z: http://catalog.osram-os.com/jsp/download.jsp?rootPath=/media/&name=Thermal_Management_Of_Golden_Dragon_LED.pdf&docPath=Graphics/00049364_0.pdf&url=/media/en/Graphics/00049364_0.pdf
- [9] *LED Drivers for High-Brightness Lighting* [online]. National Semiconductor Corporation, April 2011. [vid. 2011-12-01]. Dostupné z: http://www.national.com/assets/en/appnotes/national_lighting_solutions.pdf
- [10] *LED Lighting Reference Design Cookbook* [online]. Texas Instruments Incorporated, 4Q 2011. [vid. 2011-12-01]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/sg/slyt434/slyt434.pdf>
- [11] *LED Luminaire Design Guide* [online]. Cree, Inc. c2007. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: http://cree.com/products/pdf/LED_Luminaire_Design_Guide.pdf
- [12] LINDER, Norbert. *LEDs for Solid State Lighting* [online]. SEREC, 25 June 2009. [vid. 2011-11-15]. Dostupné z: http://www.serec.ethz.ch/eventprog/LEDs_for_Solid_State_Lighting.pdf
- [13] *LM3414/LM3414HV: 1A 60W Common Anode Capable Constant Current Buck LED Driver Requires No External Current Sensing Resistor* [online]. Texas Instruments Incorporated, November 2, 2011. [vid. 2011-12-06]. Dostupné z: <http://www.national.com/ds/LM/LM3414.pdf>

- [14] *LT3755/LT3755-1/LT3755-2: 40V_N, 75V_{OUT} LED Controllers* [online]. Linear Technology Corporation, c2008, REV D. [vid. 2011-12-06]. Dostupné z: <http://www.linear.com/docs/Datasheet/37551fd.pdf>
- [15] *Luminus devices* [online]. Luminus Devices, Inc. c2011 [cit. 2011-11-27]. Dostupné z: www.luminus.com
- [16] MARTIN, Paul S., et al. *Lumileds™: Light From Silicon Valley* [online]. Lumileds Lighting LLC Company. [vid. 2011-11-15]. Dostupné z: <http://www.ele.uva.es/~pedro/optoele/LEDs/LEDilumination.pdf>
- [17] *MAX16824/MAX16825: High-Voltage, Three-Channel Linear High-Brightness LED Drivers* [online]. Maxim Integrated Products, 4/09, Rev 2. [vid. 2011-12-06]. Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX16824-MAX16825.pdf>
- [18] OHNO Yoshi. IESNA standards on LED and SSL: LM-79, LM-80, and future standards [online]. *CORM 2009 Conference, May 6-8, 2009, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA*. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: http://www.cormusa.org/uploads/CORM_2009_-_IESNA_Standards_on_LED_and_SSL_LM79LM80_and_Future_Standards_CORM_2009_Y_Ohno.pdf
- [19] *Optimizing PCB Thermal Performance for Cree® Xlamp® LEDs* [online]. Cree, Inc. c2011. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: http://cree.com/products/pdf/XLamp_PCB_Thermal.pdf
- [20] *PhlatLight® Thermal Characteristics* [online]. Luminus Devices, Inc. c2008, Rev 02. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: http://www.luminus.com/resource/downloads/Luminus_ThermalAppNote.pdf
- [21] *Power Management for LEDs* [online]. Linear Technology Corporation, 10/24/08, Vol. 2. [vid. 2011-12-01]. Dostupné z: http://cds.linear.com/docs/Solutions/%20Manual/Power_Management_For_LEDs.pdf
- [22] *Pulsed Over-Current Driving of XLamp LEDs: Information and Cautions* [online]. Cree, Inc. c2011. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: <http://www.cree.com/products/pdf/XLamp-Pulsed-Current.pdf>
- [23] SELING, Duan Kelvin. *Light emitting diodes* [online]. Materials Engineering, San Jose State University, Dec 2, 2002. [vid. 2011-11-16]. Dostupné z: <http://www.sjsu.edu/faculty/selvaduray/page/papers/mate115/duanseling.pdf>
- [24] STICH, Andreas, Nicole BREIDENASSEL and Rainer HUBER. *Thermal Management of OSRAM OSTAR Projection Light Source* [online]. Osram Opto Semiconductors GmbH. January, 2006. [vid. 2011-11-15]. Dostupné z: http://catalog.osram-os.com/jsp/download.jsp?rootPath=/media/&name=Thermal_Management_of_OSRAM_OSTAR_Projection.pdf&docPath=Graphics/00054173_0.pdf&url=/media/en/Graphics/00054173_0.pdf
- [25] *Thermal Design of the LEDs* [online]. Nichia Corp. Jun. 15, 2011. [vid. 2011-11-14]. Dostupné z: http://www.nichia.co.jp/specification/en/product/led/ApplicationNote_thermal.pdf
- [26] *Useful Life: Understanding LM-80, Lumen Maintenance, and LED Fixture Lifetime* [online]. Philips Solid-State Lighting Solutions, Inc. c2010. [vid. 2011-11-15].

7 Seznamy symbolů, veličin a zkratek

AD		analogově-digitální
CRI		color rendering index, Index podání barev
D	[-]	střída
DMX512		protokol pro řízení osvětlení
EMI		electromagnetic interference, elektromagnetické rušení
EOS		electrical overstress, elektrické přetížení
ESD		electrostatic discharge, elektrostatický výboj
f_{OSC}	[Hz]	frekvence spínání
I ² C		Inter-Integrated Circuit, sériová sběrnice
IES		Illuminating Engineering Society
I_{LED}	[mA]	proud LED
IO		integrovaný obvod
IR		infrared, infračervené záření
L1	[mH]	indukčnost
LCD		liquid crystal display, displej z tekutých krystalů
LDO		low-dropout regulator, regulátor s malým úbytkem
LED		light-emitting diode, dioda emitující světlo
L_p	[h]	životnost světelného zdroje do dosažení p procent pův. světelného toku
MCPCB		metal core printed circuit boards, deska plošných spojů s kovovým základním materiálem
MOS-FET		metal oxide semiconductor field effect transistor, polem řízený tranzistor
n	[-]	počet diod LED
P	[W]	celkový příkon
P_{LED}	[W]	ztrátový výkon LED
PTA		port A mikroprocesoru
PWM		pulse width modulation, pulsně šířková modulace
R_{THj-sp}	[°CW ⁻¹]	tepelný odpor přechod-pájecí bod
SEPIC		single-ended primary-inductor converter
SMD		surface mount device, součástka pro povrchovou montáž
SPI		serial peripheral interface, sériové periferní rozhraní
T_j	[°C]	teplota přechodu
t_{off}	[μs]	doba rozeznutí
T_{sp}	[°C]	teplota pájecí plošky
U_D	[V]	dropout voltage, minimální úbytek na regulačním členu
U_{INMIN}	[V]	nejmenší napájecí napětí pro potřebný výstupní proud
$U_{IN(NOM)}$	[V]	nominální vstupní napětí
U_{LED}	[V]	napětí na jedné LED
UV		ultraviolet, ultrafialové záření
ΔI_{LED}	[A]	zvlnění proudu LED
η_{CEL}	[lmW ⁻¹]	celková účinnost
η_{EL}	[-]	účinnost napájecí elektroniky
Φ	[lm]	celkový světelný tok
Φ_{LED}	[lm]	světelný tok jedné LED

8 Seznam příloh

Příloha 1. Zdrojový kód pro mikroprocesor v řídicí části

Příloha 1. Zdrojový kód pro mikroprocesor v řídicí části

```
/*-----*/
/*
/*          Photosensor
/*
/*    Author: Jakub Kozdon
/*    Date:   2.4.2012
/*    Device: MC9S08QD4
/*
/*
/*
/*    PTA0 = LED 1
/*    PTA1 = Opto 1
/*    PTA2 = LED 2
/*    PTA3 = Opto 2
/*    PTA4 = PWM
/*
/*    Udd <> 4,5V
/*
/*
/*          Last edit:   1.5.2012
/*-----*/

#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */

#pragma MESSAGE DISABLE C2705 /* Warning C2705: Possible loss of data */

#define n 10          // pocet kroku - realny je n-1, minimalni stav je
                    // 1 > 1% PWM
#define maxt (n*n) // maximalni hodnota timeru
#define tim 25     // cekaci smycka pro spravnou detekci
#define tim_l 49  // dlouhy stisk > (tim_l+1)*8 ms = 400 ms
#define tim_s 4   // kratky stisk > (tim_s+1)*8 ms = 40 ms

#define LED1 PTAD_PTAD0
#define OPT1 PTAD_PTAD1
#define LED2 PTAD_PTAD2
#define OPT2 PTAD_PTAD3

unsigned __near char pom;
unsigned __near char state, state_l;
unsigned __near char btn1, btn1_ad;
unsigned __near char btn2, btn2_ad;
unsigned __near char AD;

void init(void);
void btns(void);

void main(void) {

    init();

    for(;;) {
```

```

btns(); // kontrola tlacitek

if (state != state_1){
    TPM2COV = state * state;
    state_1 = state;
}

// aktualizace timeru - exponencialni
// prubeh
// - oko logaritmuje !!

asm wait

__RESET_WATCHDOG(); /* feeds the dog */
} /* loop forever */
/* please make sure that you never leave main */
}

#pragma INLINE
/*=====

kontrola tlacitek

=====*/
void btns(void){

#define n2 4 // IIR filtr

LED1 = 1; // rozsvitim LED 1

for(pom=tim; pom > 0; pom--); //cekaci smycka 7*tim = 7*25 = 175 us

ADCSC1 = 0x41;

asm wait

LED1 = 0; // zhasnu LED 1

btn1_ad = ((n2-1)*btn1_ad + AD)/n2;

LED2 = 1; // LED 2

for(pom=tim; pom>0; pom--); // cekaci smycka

ADCSC1 = 0x43;

asm wait

LED2 = 0;

btn2_ad = ((n2-1)*btn2_ad + AD)/n2;

if (btn1_ad < (btn2_ad-btn2_ad/5)) btn1++; // kontroluji optoclen
else btn1 = 0;

if ((btn1 == tim_s) && (state < n)){

```

```

    state_l = state;
    state++; // kratky 32 ms
}

if (btn1 > tim_l) btn1 = 0; // dlouhy stisk > 512 ms

if (btn2_ad < (btn1_ad-btn1_ad/5)) btn2++;
else btn2 = 0;

if ((btn2 == tim_s) && (state > 1)){
    state_l = state;
    state--;
}

if (btn2 > tim_l) btn2 = 0;
}

#pragma INLINE
/*=====
    pocatecni inicializace
=====*/
void init(void){

    SOPT1 = 0xC0;        // zapnu watchdog, long timeout
    SOPT2 = 0x00;        // COP internal 32 kHz source

    SPMSC1 = 0x40;      // LVD vypnut, bandgap je vypnuty
    SPMSC2 = 0x00;      // stop3 je povolen

    PTAD  = 0x10;       // vynuluji PTA
    PTADD = 0x15;       // nastavim vystup pro LED a PWM
    PTAPE = 0x20;       // nastavim zvedaci odpory
    PTADS = 0x05;
    PTASE = 0x3A;

    ADCCFG = 0x90;      // low power speed, bus clk div 1, long sample,
                        // 8bit
    APCTL1 = 0x0A;      // PTA2 je pripojen na AD

    ICSTRM = NVICSTRM;  // nacteni TRIM registru
    ICSSC  = NVFTRIM;   // pro ISC
    ICSC2  = 0xC0;      // fbus = 1MHz

    TPM2MOD = maxt;     // timer jede od 0 po maxt
    TPM2C0SC = 0x20;    // no interrupts, PWM, set on compare
    TPM2C0V = maxt;     // plny jas
    TPM2SC  = 0x0C;     // no interrupts, bus clk div by 1
    TPM2C0SC_ELS0B = 1;

    __RESET_WATCHDOG();

    state = n;

```

```

    SRTISC = 0x51;          // RTI internal 1 kHz source, interrupt enable,
8ms interrupt

    EnableInterrupts; /* enable interrupts */
}

// ***** PRERUSENI ***** //

interrupt 19 void ADC(void){ // preruseni od ADC

    AD = ADCRL;

    ADCSC1 = 0x1F;

}

interrupt 23 void RTi(void){ // preruseni od RTI

    SRTISC |= 0x40;          // 24 strojovych cyklu
                             // 7.5 us

}

```