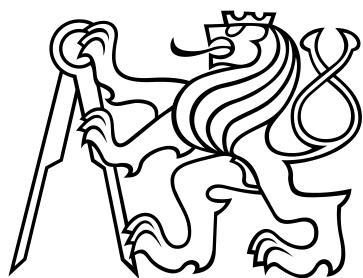


Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Možnosti užití stmívačů pro světelné diody Application of dimmers for LED dimming

Jiří Kvaček

Vedoucí: Ing. Marek Bálský, Ph.D.

Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Květen 2017

Poděkování

Děkuji panu Ing. Marku Bálskému, Ph.D. za čas, který mi věnoval ve věci vedení mé bakalářské práce a za mnoho rad a doporučení.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 15. května 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kvaček** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **434832**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Možnosti užití stmívačů pro světelné diody

Název bakalářské práce anglicky:

Application of dimmers for LED dimming

Pokyny pro vypracování:

1. Možnosti užití stmívačů pro stmívání světelných diod.
2. Návrh nebo výběr stmívače vhodného pro stmívání světelných diod.
3. Analýza fotometrických a elektrických parametrů vzorku světelných diod řízených stmívačem.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN 61000: Elektromagnetická kompatibilita (EMC).
- [2] ČSN EN 60669-2-1: Spínače pro domovní a podobné pevné elektrické instalace - Část 2-1: Zvláštní požadavky - Elektronické spínače.
- [3] HABEL, Jiří, et al. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. 438 s. ISBN 978 80 86534 21 3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Marek Bálský Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **05.09.2016** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **28.02.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou stmívání LED světelných zdrojů. Cílem této práce bylo prozkoumat možnosti řízení a napájení LED světelných zdrojů a následně navrhnout funkční stmívač na základě teoretických poznatků.

Výsledkem této práce je obecný přehled možností řízení LED světelných zdrojů a sestrojený nízkonapěťový stmívač, založený na principu PWM regulace.

Klíčová slova: PWM, LED

Vedoucí: Ing. Marek Bálský, Ph.D.

Abstract

This bachelor thesis is about dimming of LED light sources. The aim of this work was to investigate possibilities of control and power supply of LED light sources and subsequently design functional dimmer based on theoretical knowledge.

The result of this work is a general overview of the possibilities of controlling LED light sources and a low voltage dimmer, based on the principle of PWM regulation.

Keywords: PWM, LED

Title translation: Application of dimmers for LED dimming

Obsah

Zadání práce	v		
1 ÚVOD	1		
Část I			
TEORETICKÁ ČÁST			
2 OBECNÉ INFORMACE O LED SVĚTELNÝCH ZDROJÍCH	5		
2.1 Princip LED	5		
2.2 Bílé LED světelné zdroje	6		
2.3 Historie LED	6		
2.4 Výhody a nevýhody LED světelných zdrojů	7		
2.4.1 Výhody LED světelných zdrojů	7		
2.4.2 Nevýhody LED světelných zdrojů	8		
2.5 Použití LED	8		
3 NAPÁJENÍ A ŘÍZENÍ LED SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	11		
3.1 Úvod	11	3.2 Napětové napájení	11
		3.3 Proudové napájení	12
		3.3.1 Sériový rezistor	12
		3.3.2 Lineární stabilizátor	13
		3.3.3 Spínaný zdroj	13
		3.4 Kombinované napájení LED	14
		4 POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY A JEJICH VLIV NA NAPÁJECÍ SÍŤ	15
		4.1 Úvod	15
		4.2 Vyšší harmonické proudy	15
		4.3 Norma ČSN EN 61000-3-2 ed.3:2006	16
		4.4 Dekompenzace	17
		5 MOŽNOSTI ŘÍZENÍ LED SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	19
		5.1 Úvod	19
		5.2 Analogové stmívání (CCR)	19
		5.3 Pulsně šířková modulace (PWM)	19

6 NÁVRH STMÍVAČE LED	21
6.1 Úvod.....	21
6.2 Astabilní klopný obvod	21
6.2.1 Realizace pomocí dvou tranzistorů.....	21
6.3 Realizace pomocí logických členů (integrováný obvod 555)	22
6.3.1 SR klopný obvod	22
6.3.2 Generace střídavého signálu ..	23
6.4 Celkové zapojení AKO	25

**Část II
PRAKTICKÁ ČÁST**

7 NÁVRH STMÍVAČE LED	31
7.1 Výběr návrhového SW.....	31
7.2 Požadované provedení výrobku ..	31
7.3 Návrh a výběr součástek.....	32
7.4 Seznam použitých součástek.....	34
7.5 Výroba	34

8 TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ VÝROBKU	37
8.1 Vlastní měření	37
8.1.1 Flicker.....	37
8.1.2 Použité zařízení.....	37
8.1.3 Výsledky měření	38

9 ZÁVĚR **41**

Literatura **43**

Přílohy

**A FOTODOKUMENTACE VÝROBY
STMÍVAČE** **47**

**B NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY JASU V
ZÁVISLOSTI NA STŘÍDĚ** **51**

Obrázky

2.1 Tesla LQ-100 [3]	6	6.5 Zapojení AKO s IO NE555	25
3.1 Závislost VA charakteristiky na teplotě [7]	12	6.6 Průběh napětí na výstupu a kondenzátoru	26
3.2 Zapojení se sériovým rezistorem .	13	6.7 Průběh napětí bez použití rezistoru R2	26
3.3 Zapojení s lineárním stabilizátorem	13	6.8 Zapojení s diodou	28
3.4 Blokové schéma spínaného zdroje [8]	14	7.1 Celkové zapojení stmívače	33
3.5 Kombinovaný napájecí zdroj [6] ..	14	7.2 Převedené schéma do programu Formica	35
4.1 Deformovaný průběh napětí [9] ..	16	7.3 Uspořádání součástek na plošném spoji	35
5.1 Obdélníkové napětí se střídou 24 %	20	8.1 Postup zjišťování flickeru [12]	38
5.2 Obdélníkové napětí se střídou 68 %	20	8.2 Uspořádání měření	38
6.1 Realizace AKO pomocí tranzistorů	22	8.3 Průběh souřadnice Y v kolorimetrické soustavě XYZ v závislosti na střídě D	39
6.2 Funkce SR klopného obvodu	23	A.1 Osazování instalační krabice součástkami	47
6.3 Schéma a průběh napětí komparátoru	24	A.2 Vrtání děr pro součástky	48
6.4 Schéma a průběh napětí komparátoru v IO NE555	25		

A.3 Připravený a osazený plošný spoj a instalační krabice	48
A.4 Propojení plošného spoje s instalační krabicí	49
A.5 Hotový přípravek	49
A.6 Hotový přípravek s příslušenstvím	50
B.1 Měření 1 - střída $D = 0,1$	51
B.2 Měření 2 - střída $D = 0,2$	51
B.3 Měření 3 - střída $D = 0,3$	52
B.4 Měření 4 - střída $D = 0,4$	52
B.5 Měření 5 - střída $D = 0,5$	52
B.6 Měření 6 - střída $D = 0,6$	53
B.7 Měření 7 - střída $D = 0,7$	53
B.8 Měření 8 - střída $D = 0,8$	53
B.9 Měření 9 - střída $D = 0,9$	54
B.10 Měření 10 - střída $D = 1$	54

Tabulky

4.1 Dovolené proudy - zařízení třídy C	17
6.1 SR klopný obvod	23
7.1 Seznam použitých součástí	34
8.1 Základní specifikace použitého přístroje	38
8.2 Naměřené hodnoty kolorimetrem	39

Kapitola 1

ÚVOD

Dnešní společnost si žádá od rodinných domů, kanceláří či jen dekoračního osvětlení co největší míru komfortu a pohodlnosti a zároveň co nejnižší množství spotřebované energie. Tyto dva směry jsou velmi složité na realizaci tak, aby bylo učiněno v obou směrech zároveň. Účinné řízení světelných zdrojů je tedy primárním způsobem jak vyhovět oběma těmito směry.

Část I

TEORETICKÁ ČÁST

Kapitola 2

OBECNÉ INFORMACE O LED SVĚTELNÝCH ZDROJÍCH

2.1 Princip LED

LED neboli Light-Emitting Diode v překladu světlo vyzařující dioda je polovodičová elektronická součástka, která je založena na optoelektrickém jevu polovodiče. Pokud takovým materiálem (P-N přechodem) protéká proud, dochází ke zmíněnému jevu a jsou vyzařovány fotony. Na P-N přechodu dochází k rekombinaci děr a elektronů a při tomto procesu vzniká energie, která může být vyzářena v podobě fotonů či pohlcena materiálem (vznik tepla). Toto velmi ovlivňuje šířka zakázaného pásu, pravděpodobnost, že dojde ke světelné emisi, roste s šířkou zakázaného pásu. Například křemík má šířku zakázaného pásu 1,1 eV a energie vzniklá při průchodu elektrického proudu je z velké části vstřebávána materiálem ve formě tepla, což může být pro součástku nebezpečné. Využívají se tedy materiály, které mají šířku zakázaného pásu vyšší, tedy ty materiály, kde emise fotonů již bude na úrovni, která nám umožní užitečné využití. Využívá se galium-arsenidových diod, které mají šířku zakázaného pásu rovnu 1,34 eV. Zde je již velká část energie vyzářena v podobě elektromagnetického vlnění, avšak v oblasti neviditelného infračerveného záření. Proto se experimentovalo dále a zjistilo se, že vhodným přidáním fosforu, tedy diod galium-arsenid fosfid se velmi zlepší vlastnosti a hlavně se vlnová délka vyzařovaného světla posune do viditelné oblasti. Tato LED vyzařuje červené viditelné záření. [1, 2] Podobným způsobem se experimentovalo s různými materiály a použitím správných materiálů s různou šířkou zakázaného pásu vznikají LED, které vyzařují viditelné záření mnoha barev (zelené, žluté, oranžové LED). Na obrázku 2.1 je jedna z prvních LED vyráběných u nás.



Obrázek 2.1: Tesla LQ-100 [3]

2.2 Bílé LED světelné zdroje

Speciálním odvětvím vývoje je výroba LED, které umí svítit bílým světlem. Toto odvětví je velmi důležité, protože se jedná o plnohodnotnou náhradu klasických světelných zdrojů při nesrovnatelně nižší spotřebě elektrické energie. Bílé LED jsou zpravidla tvořeny LED zdroji emitující záření modré barvy, na které je deponován luminofor. Lze použít i mnohé jiné LED zdroje, ale vždy je zapotřebí vybrat správný luminofor, aby teplota chromatičnosti vyzařovaná světelným zdrojem byla co nejvíce podobná teplotě chromatičnosti denního světla. Pro zajímavost uvádím název často používaného luminoforu - yttrito-hlinitý granát dopovaný cérem (Ce:YAG). [4]

2.3 Historie LED

Fyzikální podstata LED je již velmi dlouhou dobu známa. Již roku 1907 objevil britský inženýr Henry Joseph Round elektroluminiscenci, tedy schopnosti materiálu při průchodu elektrického proudu vyzařovat viditelné záření. První krok tak byl učiněn. Trvalo však několik desítek let, než se roku 1962 podařilo vytvořit první funkční polovodičovou LED diodu. Ta emitovala červenou barvu a byla tak na dlouhou dobu devíti let jedinou možnou. Kvůli svému nízkému výkonu mohla být použita jen velmi zřídka, sloužila jako ukazatel, tedy kontrolka v různých přístrojích, od měřicích zařízení až po televizory či telefony. Jednalo se však o pouhé výjimky a použití bylo jen v tom nejlepší, co bylo k dostání. V roce 1971 se situace trochu změnila. Objevilo se více barev, konkrétně zelená, žlutá, oranžová a to dalo další impuls pro rozšíření této stále zatím velmi drahé a neprozkoumané součástce. Na volný trh se dostávají LED diody teprve až v průběhu 80. let či spíše začátku let 90. Byl zvýšen jejich výkon, rozšířila se nabídka barev a technologie se zlevnila a byla tak použitelná v daleko širším spektru možností. Užívalo se jich především jako nejrůznějších

kontrolek ve spotřebičích. 90. léta znamenala vývoj čistě bílých a modrých LED a také aplikace luminoforu. Také se poprvé na scénu dostaly vícebarevné LED a tím končí tento boj o více barev. V novém tisíciletí je vývoj v oblasti LED svítidel zaměřen především na co nejvyšší účinnost a na to, která firma představí LED čip s vyšším ziskem $\frac{lm}{W}$. Momentálně nejvyšší dosažená hodnota je přes 300 $\frac{lm}{W}$ při teplotě chromatičnosti 5150 K dosažená v laboratorním prostředí a již naráží na fyzikální vlastnosti polovodičových materiálů. Maximální běžně prodávané zdroje mohou dosahovat hodnot vyšších 120 $\frac{lm}{W}$. Avšak i tak se jedná o výborné hodnoty, které jsou důvodem nahrazování klasických světelných zdrojů právě LED technologií. [5]

2.4 Výhody a nevýhody LED světelných zdrojů

2.4.1 Výhody LED světelných zdrojů

První a asi nejvíce diskutovanou výhodou LED světelných zdrojů je jejich účinnost a s ní spojená nízká spotřeba elektrické energie. Oproti klasickým wolframovým žárovkám mají až 90 % úsporu energie vynaložené na stejné parametry vyzářeného světla. To souvisí se světelným tokem, který lze získat z jednoho wattu elektrické energie. Klasická žárovka dosahuje hodnot okolo 13-14 $\frac{lm}{W}$ oproti tomu nejlepší dostupné LED zdroje i více jak 120 $\frac{lm}{W}$. Což je značný rozdíl a zde je jejich hlavní výhoda. S vysokou světelnou účinností souvisí i dobré tepelné vlastnosti. LED diody se nezahřívají, tak jak je známo u klasických žárovek. Další nespornou výhodou je okamžitý start takového zdroje, což oceníme na frekventovaných místech s častým zapínáním světel. Dále je důležité uvést, že LED světelné zdroje mohou být umístěny i v nebezpečných a znečištěných místech, jelikož mohou být plně zapouzdřeny a nedosahují vysokých teplot. Obecně LED světelné zdroje mají více výhod než nevýhod, z tohoto důvodu se také masově rozšiřují a je to prozatím nejperspektivnější zdroj světla.

Seznam výhod LED

1. Účinnost a nízká spotřeba elektrické energie
2. Okamžitý start
3. Dlouhá životnost
4. Ekologie

5. Dobrá návratnost
6. Dobré mechanické vlastnosti

2.4.2 Nevýhody LED světelných zdrojů

Nevýhod LED světelných zdrojů není mnoho, avšak samozřejmě jako u všeho jich stále hodně nalezneme. V současné době je hlavní nevýhodou poměrně vysoká pořizovací cena, což samozřejmě odrazuje od masového rozšiřování. Pomineme-li tyto ekonomické aspekty, tak další problémy mohou být s chlazením a to především u výkonných čipů, od kterých je nutno dobře odvádět teplo, jinak je vystavujeme riziku nižší životnosti či úplnému zničení. Poslední řešenou nevýhodou jsou možnosti napájení LED zdrojů. Pokud máme napájet výkonné a složité LED světelné zdroje, tak ve většině případů potřebujeme předřadnou elektroniku.

Seznam nevýhod LED

1. Vyšší pořizovací náklady
2. Dobrá finanční návratnost
3. Možnosti napájení
4. Chlazení LED zdrojů

2.5 Použití LED

Obecně lze LED světelné zdroje použít ve většině možných aplikacích a úspěšně vytlačují konvenční světelné zdroje. Jediným omezením je maximální výkon, který se každý rok rapidně zvyšuje, není tedy problém předpokládat, že se zanedlouho vyrovnají i velmi výkonným výbojkám. Nejčastějším použitím LED světelných zdrojů je osvětlování prostor (kanceláří, domácností, kin, divadel, apod.). Velmi oblíbeným použitím je exteriérové dekorační světlo. Příkladem mohou být vánoční světelné řetězy, které před několika lety byly dominantně pouze s klasickými vláknovými žárovkami. Dnes je situace zcela jiná a v naprosté většině je využíváno právě LED světelných zdrojů.

Další oblastí je indikace. Tato oblast je nejstarší oblastí z hlediska využití LED. Právě první LED sloužily pro indikaci. Dnes již zcela běžná praxe. Nejnovější oblastí, kde se prosazují LED je průmysl automobilový. Dnes již řada automobilek standardně montuje do svých vozů LED světlomety, najdete i automobily, ve kterých již standardní vláknovou žárovku nenalezneme. Taktéž lze zmínit, že již na mnoha místech začala modernizace uličního osvětlení a jako nových zdrojů světla se využívá právě LED.

Kapitola 3

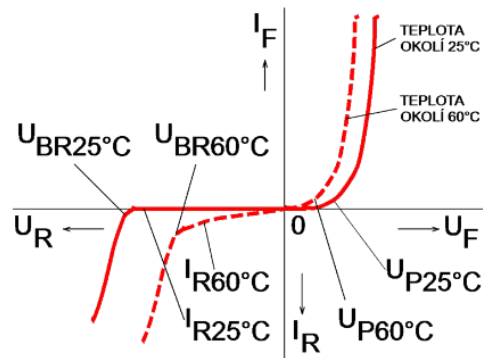
NAPÁJENÍ A ŘÍZENÍ LED SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

3.1 Úvod

Napájení LED zdrojů je složitější disciplínou, než je tomu například u klasické wolframové žárovky. Výkonné LED světelné zdroje potřebují pro svoji činnost speciální elektronické předřadníky, které zajišťují správné napájení samotných LED čipů. Napájet LED lze dvěma způsoby. [6]

3.2 Napěťové napájení

Úvaha vychází z voltampérové charakteristiky obecné diody. Můžeme si povšimnout, že malé změně napětí odpovídá velká změna proudu, zejména pak ve vodivostní oblasti tedy za prahovým napětím. Zde je vidět úskalí tohoto typu napájení, jelikož i při nepatrné změně napájecího napětí může dojít ke strmému nárůstu proudu a následně k nevratnému poškození celé součástky. Zdroje pro tento typ napájení nazýváme jako zdroje konstantního napětí (CV). K tomuto zdroji zapojujeme LED paralelně, napětí je pro všechny připojené větve stejné a proud je dán součtem proudů v jednotlivých větvích. Proud LED diodou je následně omezován předřadným rezistorem. Z toho plyne nevýhoda v podobě výkonových ztrát. Se vzrůstajícím výkonem se zvyšují ztráty na zapojených rezistorech a vzniká teplo. Je tedy důležité následně řešit účinné chlazení systému. Další důležitou záležitostí je si také uvědomit v jaké oblasti pracovních teplot bude daná LED dioda provozována. Na přiloženém obrázku 3.1 je velmi dobře vidět, jak se mění voltampérové charakteristiky s rostoucí teplotou. Regulovat výkon této soustavy lze pomocí pulsně šířkové modulace.



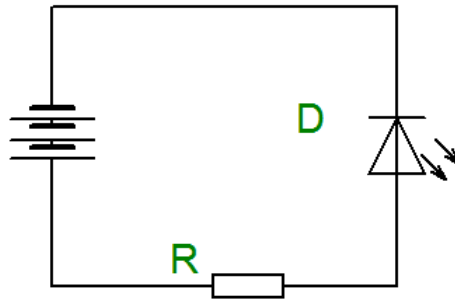
Obrázek 3.1: Závislost VA charakteristiky na teplotě [7]

3.3 Proudové napájení

Problémy s výkonovými ztrátami, které vznikají u napěťového napájení, jsou zde z důvodu použití spínaných zdrojů potlačeny. Zdroje pro tento typ napájení nazýváme jako zdroje konstantního proudu (CC). LED jsou k tomuto zdroji zapojovány nejčastěji sériově do jedné větve. Proud ve větvi je jmenovitým proudem zdroje a je pro všechna zapojená zařízení stejný. Poté propustná napětí spotřebičů ve větvi jsou sčítána a nesmí být mimo regulační možnosti výstupního napětí zdroje. Při nedodržení této podmínky by mohlo dojít ke zničení zdroje či připojených spotřebičů. Nevýhodou může být to, že proudové zdroje bývají často navrhované na konkrétní použití a nedovolují tak běžné použití pro různé účely. Řídit tuto sestavu můžeme za pomoci změny úrovně výstupního proudu, případně proudovou pulsní šířkovou modulací. Realizovat proudový zdroj lze několika způsoby.

3.3.1 Sériový rezistor

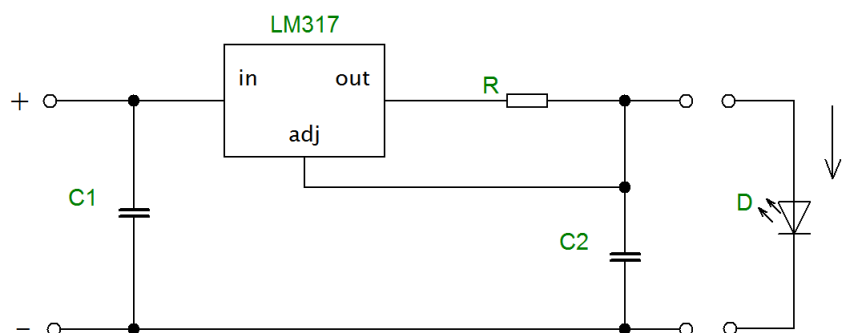
Výroba levného a nejjednoduššího proudového zdroje je velice snadná. Pokud zapojíme na zdroj napětí rezistor o definované hodnotě, získáme tak zdroj proudu. Toto zapojení je velmi spolehlivé, avšak v praxi obtížněji využitelné. Stačí, aby se změnilo napětí diody v důsledku například provozní teploty, ihned se změní napětí na rezistoru a následkem toho i dodávaný proud. Další nevýhodou jsou výkonové ztráty na rezistoru a následně vznikající teplo. Zapojení je znázorněno na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Zapojení se sériovým rezistorem

3.3.2 Lineární stabilizátor

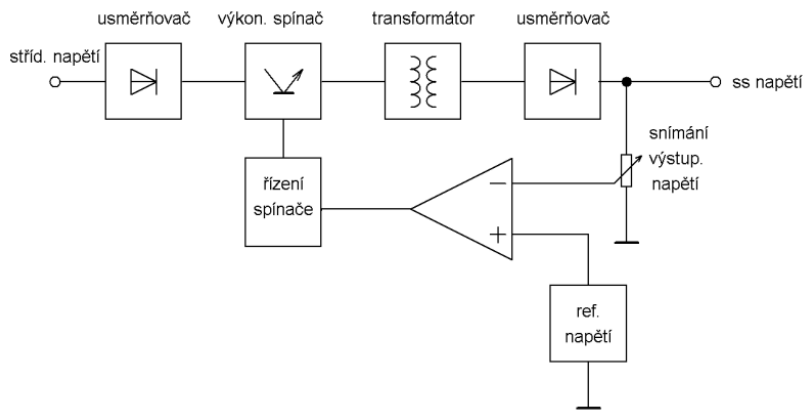
Využívá se lineárního napětového stabilizátoru, který je zapojen jako zdroj konstantního proudu. Je tím tak vyřešena nevýhoda s možným kolísajícím napětím na rezistoru, avšak ztráty se tímto zapojením nevyřešily. Jednoduché zapojení lineárního stabilizátoru je znázorněno na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Zapojení s lineárním stabilizátorem

3.3.3 Spínaný zdroj

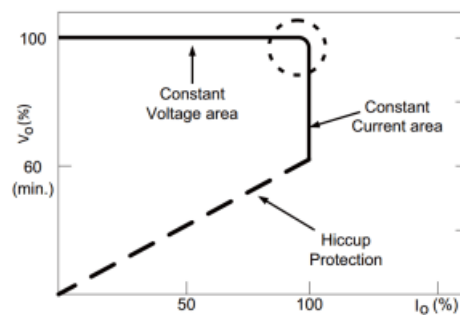
Tato možnost je co do konstrukce nejsložitější, avšak úspěšně minimalizuje tepelné ztráty. Síťové vstupní napětí je nejprve usměrňováno na diodovém můstku a vyhlazeno vstupním kondenzátorem. Takto upravený průběh napětí se pomocí výkonových tranzistorů opět rozstřídá na frekvenci v řádu desítek kHz. Střídavé napětí se přivede na primární vinutí transformátoru. Na sekundární straně opět dochází k usměrňování a vyhlazení průběhu napětí. Stabilita výstupního napětí je hlídána pomocí zpětné vazby. Blokové schéma spínaného zdroje je zobrazeno na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4: Blokové schéma spínaného zdroje [8]

3.4 Kombinované napájení LED

Na trhu lze nalézt i takové zdroje, které jsou schopny pracovat jak v režimu konstantního napětí, tak v režimu konstantního proudu. Pokud je u napěťových zdrojů překročen maximální dovolený proud, je to považováno za poruchový stav a zareaguje nadproudová ochrana. U těchto speciálních typů zdrojů dojde při zvyšování zatížení automaticky k přepnutí do režimu konstantního proudu, avšak za předpokladu splnění podmínek pro správný provoz v tomto režimu. Situaci přibližuje obrázek 3.5.



Obrázek 3.5: Kombinovaný napájecí zdroj [6]

Kapitola 4

POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY A JEJICH VLIV NA NAPÁJECÍ SÍŤ

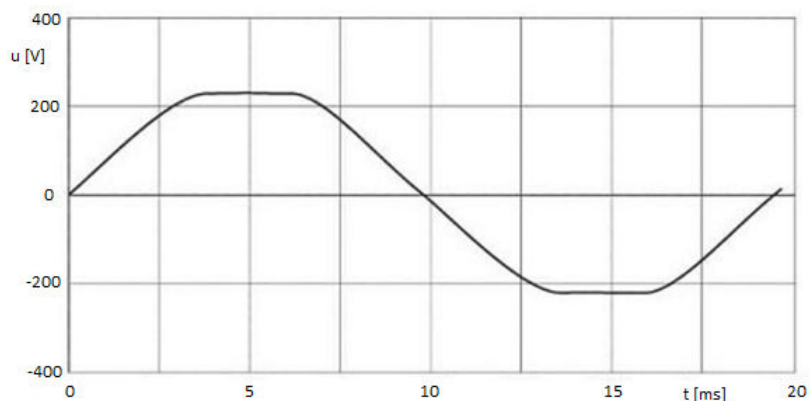
4.1 Úvod

S příchodem polovodičových prvků se začalo vyvíjet odvětví výzkumu, které se zaobírá problémy, které způsobují polovodičové prvky v síti. Jak bylo výše zmíněno, LED světelné zdroje nemají jen výhody, ačkoli převažují, ale také nevýhody. Jednou z nich je neblahý zpětný vliv na napájecí síť. Pokud uvažujeme o připojení dvou LED světelných zdrojů do sítě, která je jinak tvořena zařízeními čistě odporovými, nic problematického se nestane. Existují však četné případy, kdy do sítě zapojujeme celé kancelářské komplexy, celé budovy, které již dnes jsou z velké části osvětlovány právě LED světelnými zdroji a využívají ve velké míře polovodičovou techniku. Při větším množství připojených zařízení může docházet k rušení ostatních spotřebičů, respektive může působit problémy napájecí síti.

4.2 Vyšší harmonické proudy

Zkoumání vyšších harmonických proudů je velmi důležité. Každý periodický průběh, do něhož se řadí i napětí v síti lze rozložit na součet sinusových průběhů, kde jejich frekvence je násobkem frekvence základního průběhu. Ideální případ by byl ten, kdy bychom měli v síti pouze čistě odporové spotřebiče. Tyto spotřebiče odebírají proud, který svým průběhem věrně kopíruje průběh napětí. Bohužel v elektrické rozvodné síti nemáme pouze takovéto prvky, ale také prvky, které průběh napětí svým odebíraným proudem nekopírují. Například pokud máme v obvodu zapojenu indukčnost L , víme, že proud se zpožďuje za napětím.

Dalším případem jsou právě LED světelné zdroje, které neodebírají pouze činný výkon, ale také jalový výkon, který v mnoha případech převyšuje odběr činného výkonu. Je tedy velmi vhodné udávat údaj o zdánlivém příkonu, aby pro budoucí návrhy bylo možno vypočítat i případný dekompenzační či kompenzační jalový výkon. LED světelné zdroje a další moderní úsporné zdroje odebírají jalový výkon kapacitního charakteru. Na obrázku 4.1 je zobrazen průběh možného deformovaného napětí.



Obrázek 4.1: Deformovaný průběh napětí [9]

4.3 Norma ČSN EN 61000-3-2 ed.3:2006

Omezeními a požadavky na výrobky uváděné na trh z hlediska elektromagnetické kompatibility a zpětného vlivu na síť se zabývá norma ČSN EN 61000. Jedná se o normu velmi rozsáhlou a má několik rozšiřujících dokumentů. Jenou z nich je i verze 3-2 ed.3:2006, která se zabývá omezením proudů harmonických injektovaných do veřejné rozvodné sítě a stanovuje tak meze harmonických složek, které mohou zařízení uváděná na trh produkovat. Zařízení jsou v této normě rozdělena do tříd a ty mají specifikované dovolené limity a požadavky. Zařízení světelné techniky, respektive stmívače světelných zdrojů a světelné zdroje samotné jsou specifikovány ve dvou třídách (třída A, C). Třída A se zabývá mimo jiné stmívači pro klasické žárovky. V třídě C poté nalezneme primárně světelná zařízení a to včetně LED světelných zdrojů a jejich regulátorů. V tabulce [4.1] jsou specifikovány maximální dovolené proudy vyšších harmonických. Nutno podotknout, že uvedené údaje v tabulce 4.1 platí pouze pro zařízení s činným příkonem větším než 25 W. Pro zařízení s činným příkonem rovným či nižším než 25 W nejsou určeny žádné požadavky a limity, vyjma speciálních požadavků na výbojková světelná zařízení.

Tohoto omezení si lze velmi dobře všimnout i na pultech obchodů. Sehnat LED světelné zdroje s činným příkonem vyšším než 25 W je velmi obtížné. Je to dáno právě touto hranicí činného příkonu, kdy nad ní by již výrobci byli omezeni mezemi stanovenými v této normě, a ty nejsou v sériové výrobě lehké dodržet. [10]

Řád harmonické n	Největší dovolený proud harmonické [A]
2	2
3	$30 \cdot \lambda$
5	10
7	7
9	5
$11 < n < 39$	3

Tabulka 4.1: Dovolené proudy - zařízení třídy C

4.4 Dekompenzace

V některých případech je nutné dekompenzovat jalový výkon kapacitního charakteru a to pomocí tlumivky. Do obvodu se zařazuje nárazová tlumivka, která má zaprvé dekompenzovat jalový výkon a zadruhé zabraňuje vysokým napětovým špičkám při startech. Samozřejmě je nutné počítat s tím, že tlumivka má určité činné ztráty, které jsou na rozdíl od kondenzátorů daleko vyšší.

Kapitola 5

MOŽNOSTI ŘÍZENÍ LED SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

5.1 Úvod

Z fotometrie je známo, že světelný tok diody je úměrný protékajícímu proudu diodou, což napovídá, že k řízení diod je zapotřebí řídit proud. Existují dva způsoby, jak lze stmívat LED zdroje, a to pulsně šířková modulace (PWM) a konstantní redukce proudu (CCR).

5.2 Analogové stmívání (CCR)

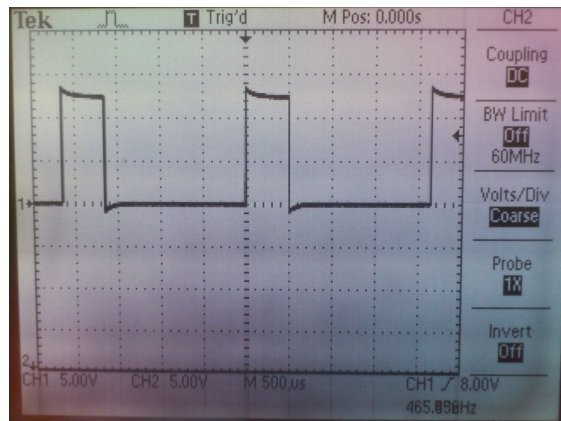
Tato možnost souvisí s napájením pomocí plynulého snižování proudu obvodem. Protože snížením proudu dojde také ke snížení jasu LED, je tato metoda vhodná pro řízení. Tato metoda je užívána méně často, z důvodu svých nesporných výhod však nalézá uplatnění v nejrůznějších aplikacích. Například ve vlhkých a nebezpečných prostorech či nemocničních zařízeních. Tato metoda odstraňuje problémy s možným blikáním, stroboskopickým efektem či elektromagnetickým rušením.

5.3 Pulsně šířková modulace (PWM)

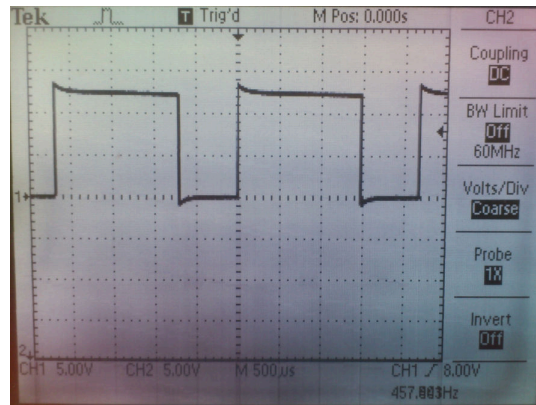
PWM modulace je tzv. dvoustavová metoda, která je dnes velmi rozšířena a oproti jiným metodám velice úsporná ve vlastní spotřebě energie. Touto metodou je dnes možno velice účinně regulovat např. otáčky elektromotorů nebo jas LED. Jedná se o metodu, která vytváří na výstupu dvoustavový průběh signálu (log 0 a log 1), zjednodušeně řečeno jedná se o obdélníkovou vlnu, která má stavy log 0 a log 1. To k účinnému řízení však nestačí,

a proto je nutno zavést další parametry PWM modulače. Těmi jsou frekvence a střída. Frekvence PWM nám udává, jak rychle bude docházet ke změně stavu na výstupu a tato frekvence je konstantní, závislá na použitých součástkách. Střída, označme ji D definuje poměr mezi stavem log 1 a stavem log 0. Definujeme tak střední hodnotu výstupního signálu.

$$D = \frac{t_z}{T} \cdot 100\% \quad (5.1)$$



Obrázek 5.1: Obdélníkové napětí se střídou 24 %



Obrázek 5.2: Obdélníkové napětí se střídou 68 %

Chování řízeného zařízení je tak ovlivněno délkou periody T a střídou D . Pro interpretaci, pokud budeme řídit jas LED, tak tehdy když zvolíme nízkou periodu, například 200 ms (5 Hz) bude LED blikat. Avšak pokud zvolíme periodu například 10 ms, bude LED již svítit. To je způsobeno uzpůsobením lidského oka, které je schopno vnímat změny pouze do určité frekvence. Ve skutečnosti LED bliká na úrovni 100 Hz, ale lidské oko již není schopno tuto frekvenci zaznamenat. Celé řízení tedy spočívá ve velikosti střídy D , tedy na tom, jak dlouho setrvává výstupní signál v hodnotě log 1.

Kapitola 6

NÁVRH STMÍVAČE LED

6.1 Úvod

Pro realizaci stmívače jsem si vybral možnost PWM modulace, a to z toho důvodu, že se jedná o základní princip stmívání a je možné tuto metodu používat v širokém poli působnosti. K sestavení PWM modulace je zapotřebí generátor impulsů, který bude na výstupu generovat střídavé pulsy, respektive dvoustavový signál (log 0 a log 1). Tento generátor může být sestaven například pomocí astabilního klopného obvodu.

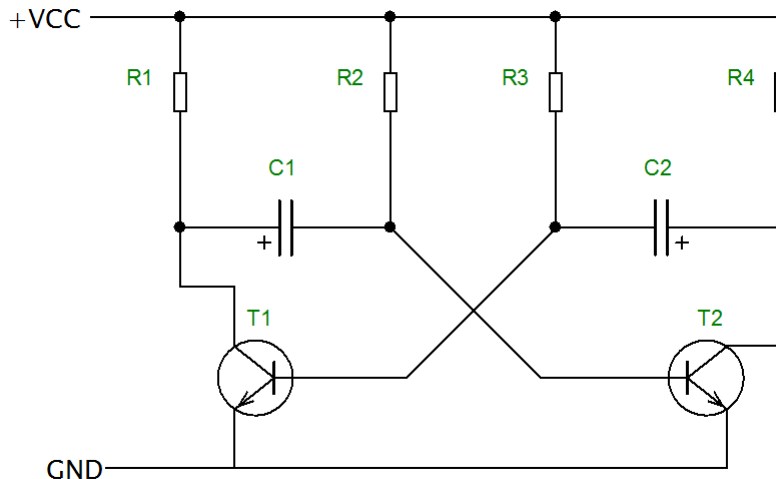
6.2 Astabilní klopný obvod

Astabilní klopný obvod (AKO) je zapojení, při kterém se zařízení v činnosti nezdrží ani v jednom stabilním stavu. Znamená to tedy, že takový obvod neustále osciluje z jednoho stavu do druhého. Perioda kmitání obvodu je určena hodnotami použitých součástek, což je rozvedeno níže. Realizace AKO je možná diskrétně, tedy pomocí dvou tranzistorů, nebo využitím logických členů.

6.2.1 Realizace pomocí dvou tranzistorů

Zapojení využívá jednoduchého jevu nabíjení a vybíjení kondenzátorů. Na začátku celého procesu předpokládejme nulový stav, tedy kondenzátory C1 a C2 jsou vybity. Po připojení na napájecí napětí dojde k tomu, že se začnou kondenzátory C1 a C2 nabíjet a následkem toho se otevírají tranzistory T1 a T2. Při použití reálných součástek není zaručena úplná shoda a následkem toho je, že se jeden z tranzistorů otevře dříve. Pokud

se otevře dříve tranzistor T1, znamená to, že se začne kondenzátor C1 vybíjet a tímto se uzavře tranzistor T2. Kondenzátor C2 se stále nabíjí, roste na něm napětí a způsobuje plné otevření tranzistoru T1. Kondenzátor C1 se postupně nabije na opačnou polaritu a způsobí vzrůst napětí na bázi tranzistoru T2 a začne se otevírat. Následně se stejným způsobem začne vybíjet kondenzátor C2. Obvod se tzv. skokově překlápí a na výstupu můžeme naměřit opačné napětí.



Obrázek 6.1: Realizace AKO pomocí tranzistorů

6.3 Realizace pomocí logických členů (integrováný obvod 555)

AKO lze sestavit i za pomoci logických funkcí. K tomuto objevu se píše rok 1970, kdy švýcarský vynálezce Hans R. Camenzind vyvinul jeden z nejvíce užitečných a dodnes hojně využívaný integrovaný obvod na světě a to NE555. Jedná se o osmi-vývodový kompaktní čip, který obsahuje především dva komparátory a SR klopný obvod. Za pomoci tohoto čipu je pak již snadné sestavit funkční AKO.

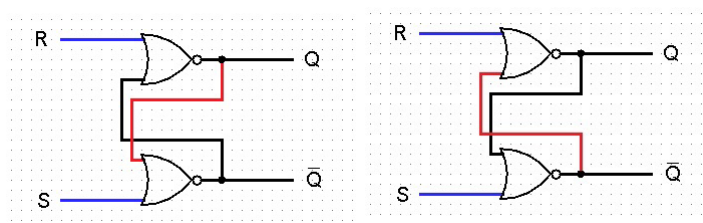
6.3.1 SR klopný obvod

Na obrázku 6.2 níže je celý obvod rozkreslen. Jedná se o velmi jednoduché zapojení, které využívá dvou logických hradel NOR. SR klopný obvod vznikne tím způsobem, že je odebrán signál z výstupu prvního NORu a je přiveden na jeden ze vstupů druhého NORu. Stejně je tomu u výstupu druhého NORu, který je přiveden na jeden ze vstupů prvního NORu. SR klopný obvod má nadále dva vstupy, takzvaný SET (nastav) a RESET (vynuluj).

S	R	Q	\bar{Q}
0	0	na change	no change
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	no allowed	no allowed

Tabulka 6.1: SR klopný obvod

Jestliže je uvažován počáteční stav, kdy na vstupech je nulový signál, tak se jedno z hradel aktivuje dříve než to druhé a na výstupu se objeví signál. To je způsobeno použitím reálných hradel, která v praxi nebývají identická. Signál z výstupu prvního NORu je přiveden na vstup druhého NORu [6.2 vlevo], avšak po přivedení signálu na SET se již nic nestane a na výstupu druhého NORu zůstane nulový signál. Ovšem pokud je přiveden signál na RESET, dojde k takzvanému překlopení obvodu [6.2 vpravo]. Dojde k tomu v závislosti na tom, že se na výstupu prvního NORu objeví nulový signál, který je následně přiveden na vstup druhého NORu. Po odstranění signálu z RESETu zůstane obvod v překlopeném stavu. Lze tedy říci, že klopný obvod SR může pracovat také jako jednoduchá paměťová buňka.



Obrázek 6.2: Funkce SR klopného obvodu

6.3.2 Generace střídavého signálu

Pro požadovanou funkci SR klopného obvodu je zapotřebí přivádět střídavě signály SET a RESET, a to způsobí požadovaný střídavý signál na výstupu SR klopného obvodu. Způsob přivádění střídavých signálů lze vyřešit pomocí dvojice komparátorů.

Komparátor

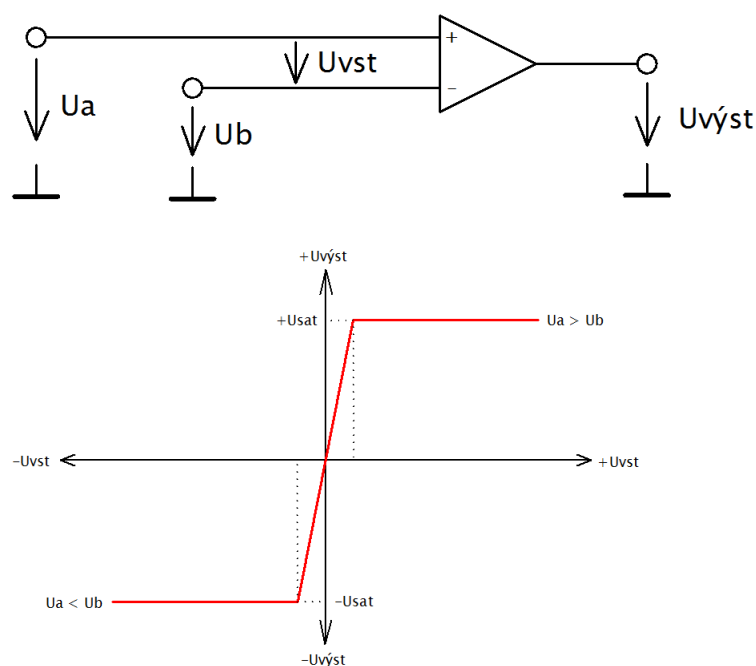
Komparátor je nejjednodušší zapojení operačního zesilovače bez zpětné vazby. Takto zapojený zesilovač má velké zesílení. Základním principem je diferenciální zesílení, kdy takto

zapojený zesilovač zesiluje rozdíl mezi jednotlivými vstupy. Jestliže tedy je na vstupu rozdíl třeba jen v řádu několika milivoltů, znamená to na výstupu kladné či záporné saturační napětí. Zjednodušeně lze pro moji aplikaci stanovit, že pokud je na neinvertujícím vstupu větší napětí než na vstupu invertujícím, na výstupu se objeví kladné saturační napětí. V mém případě to mohu interpretovat jako logickou jedničku.

$$U_{vst} = U_a - U_b$$

$$U_a > U_b \rightarrow +U_{sat}$$

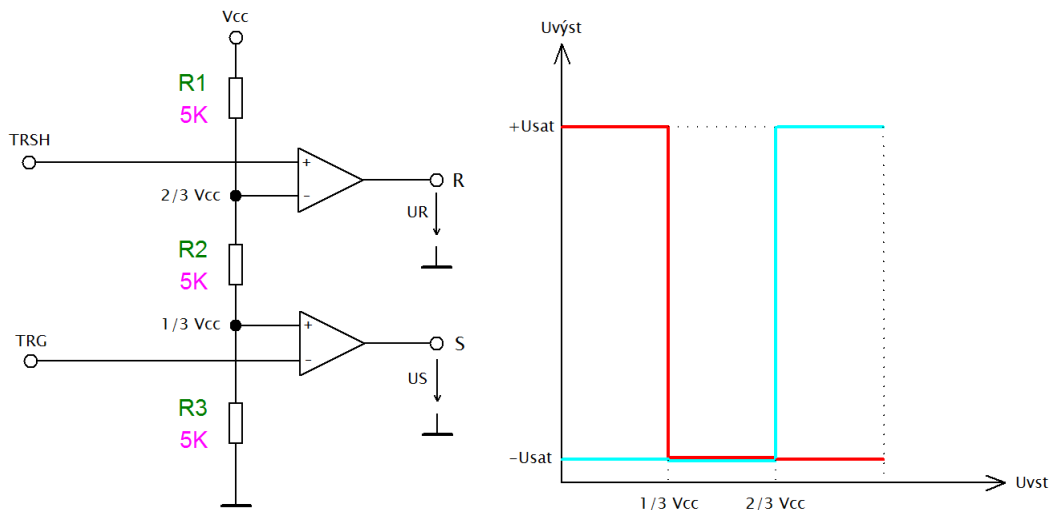
$$U_a < U_b \rightarrow -U_{sat}$$



Obrázek 6.3: Schéma a průběh napětí komparátoru

Komparátory NE555

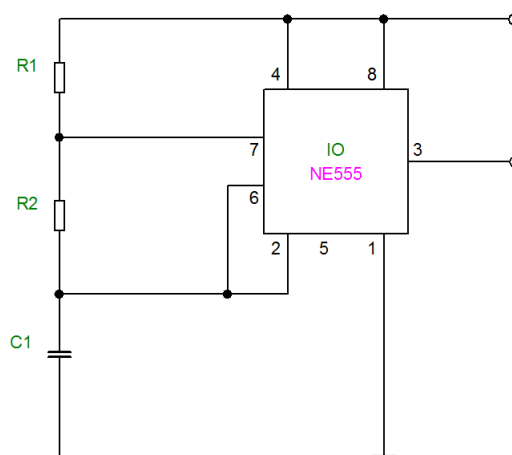
V mém přípravku, respektive v obvodu NE555 je použita dvojice komparátorů, která porovnává vstupní napětí s napětím referenčním. Na obrázku níže je znázorněno zapojení použité dvojice komparátorů. Komparátor R, který přivádí signál pro RESET klopného obvodu je zapojen jako neinvertující a komparátor S jako invertující. Referenční napětí je tvořeno odporovým děličem s trojicí identických rezistorů o hodnotě 5kOhm. To znamená, že referenční napětí pro komparátor R je $2/3 V_{cc}$ a pro komparátor S $1/3 V_{cc}$. Takto zapojené komparátory mohou v závislosti na vstupním napětí generovat signál pro SET a RESET klopného obvodu.



Obrázek 6.4: Schéma a průběh napětí komparátoru v IO NE555

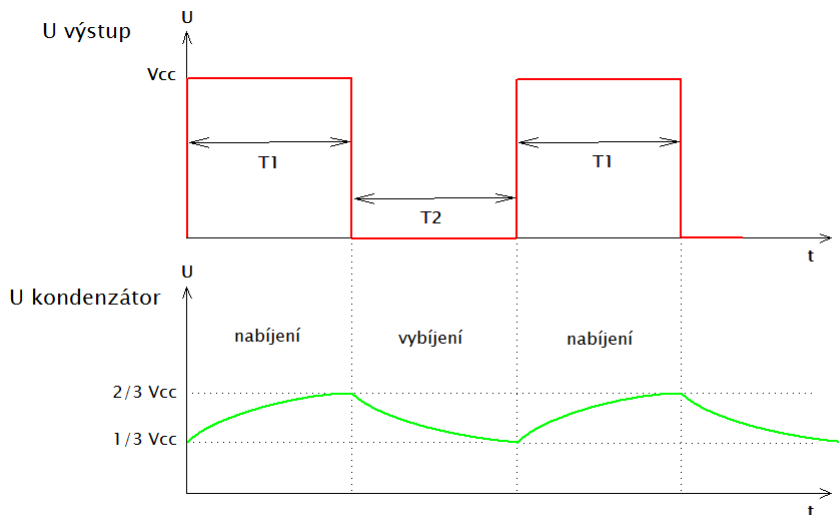
6.4 Celkové zapojení AKO

V případě znalosti funkce integrovaného obvodu 555 ho lze použít k zapojení astabilního klopného obvodu. Astabilní znamená, že nemá žádný stabilní pracovní bod, v mém případě neustále osciluje mezi dvěma stavy, jak je znázorněno níže. Tato zapojení umožňuje na výstupu dostat obdélníkový průběh napětí a při vhodném zapojení taktéž s volitelnou velikostí střídý a frekvencí obvodu.



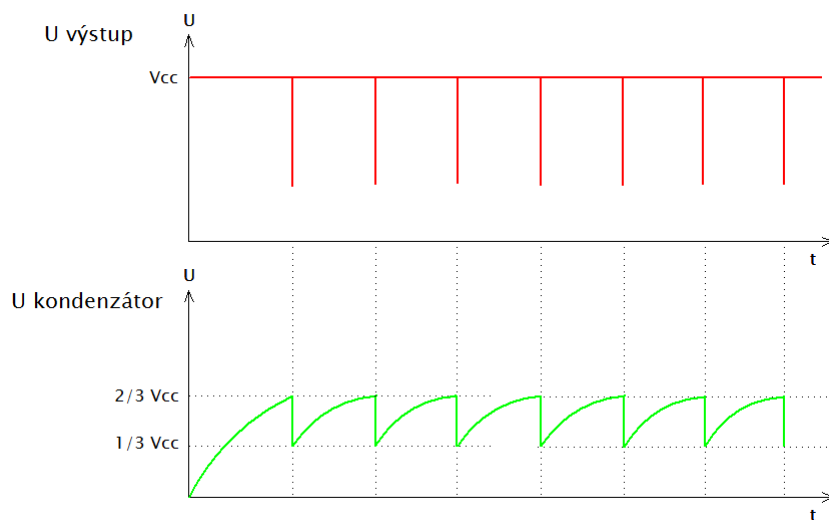
Obrázek 6.5: Zapojení AKO s IO NE555

Celý princip je založen na nabíjení a vybíjení kondenzátoru C1. Kondenzátor C1 je nabíjen přes rezistory R1 a R2 a vybíjen pouze přes rezistor R2. Po přivedení napájecího napětí je kondenzátor C1 nabíjen až na napětí rovné prahovému napětí komparátoru S. Při jeho dosažení se klopný obvod překlápí a nastane vybíjení kondenzátoru C1 přes takzvaný



Obrázek 6.6: Průběh napětí na výstupu a kondenzátoru

vybíjecí tranzistor (pin 7). Vybíjení probíhá až na hodnotu napětí na kondenzátoru $C1$ rovného prahovému napětí komparátoru R . Klopný obvod se opět překlápí a dochází k opětovnému nabíjení kondenzátoru $C1$. Tento proces probíhá stále dokola. Na obrázku 6.7 níže můžeme vidět, proč je nutné použít rezistory $R1$ a $R2$. Vybíjení tranzistoru je velmi rychlý jev a tím vznikají na výstupu velmi krátké pulsy, nikoliv potřebný obdélníkový průběh. Z tohoto důvodu je nutné použít rezistor $R2$, který prodlouží dobu vybíjení kondenzátoru $C1$, tím zajistíme delší průběh pulsu na výstupu celého časovače.



Obrázek 6.7: Průběh napětí bez použití rezistoru $R2$

Doba nabíjení $T1$:

$$T1 = \ln(2) \cdot (R1 + R2) \cdot C1 \text{ [s]} \quad (6.1)$$

Doba vybíjení T2:

$$T2 = \ln(2) \cdot R2 \cdot C1 [s] \quad (6.2)$$

Doba periody T:

$$T = T1 + T2 = \ln(2) \cdot (R1 + 2 \cdot R2) \cdot C1 [s] \quad (6.3)$$

Frekvence výstupního napětí f:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln(2) \cdot (R1 + 2 \cdot R2) \cdot C1} [Hz] \quad (6.4)$$

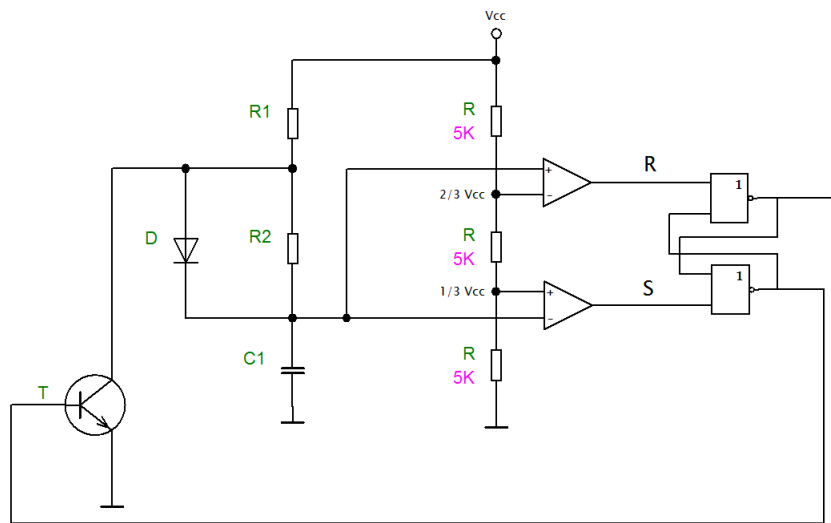
Střída impulzů D:

$$D = \frac{T1}{T} [-] \quad (6.5)$$

Výše bylo zmíněno, že frekvence AKO je závislá na hodnotách použitých součástek. Při návrzích těchto obvodů se lze řídit dvěma způsoby. Vždy je důležité vědět, k čemu bude daný výrobek určen a co musí v běžném provozu plnit. S tím souvisí návrh frekvence AKO. První užití je vztaženo k vlastnostem lidského oka, kdy záměrně chceme, abychom dokázali rozlišit frekvenci například blikání světla. Toho může být užito například u směrových světel u automobilů, kde správná frekvence blikání je velmi důležitou záležitostí. Druhé využití je naopak takové, kde nechceme využívat rozlišovací oblast oka, ale naopak chceme, aby se nám světlo jevilo jako plynulé. Musíme tedy nastavit obvod na vysokou frekvenci. Ze schématu je patrné, že základní funkce AKO je vytvořena jen použitím několika součástek. Výběr součástek je vhodné začít u kondenzátoru C1 z toho důvodu, že kondenzátory nejsou obecně vyráběny v příliš širokých řadách, naopak rezistory můžeme zakoupit v nejrůznějších hodnotách a provedeních.

Následný výběr rezistorů R1 a R2 závisí na našich požadavcích a lze je zjistit z výše uvedených vzorců. Ze vzorců 6.1 a 6.2 je také patrné, že nelze zapojením podle obrázku 6.5 dosáhnout střídy přesně 0,5, tedy že šířka impulzu je stejná jako šířka mezery. Je to způsobeno pouze tím, že kondenzátor C1 nabíjíme přes rezistory R1 a R2 a vybíjíme pouze přes rezistor R2, tím dostaneme rozdílné nabíjecí a vybíjecí doby, potažmo rozdílné šířky pulsů a mezer. V zapojení je však uveden i rezistor R1, který brání nabíjení kondenzátoru C1. Důvod nutnosti zapojení rezistoru R1 je však jiný. Z obrázku 6.8 je patrné, že vybíjecí tranzistor T je spojen přes rezistor R1 s napájecím napětím. Je tedy patrné, že přes tranzistor T protéká jednak vybíjecí proud kondenzátoru C1, ale také proud, jehož velikost je dána právě odporem R1. Aby tedy nedošlo k namáhání a možnému následnému zničení tranzistoru T nesmíme zapojit rezistor menší, než je nejmenší přípustná hodnota (1kΩ). Pozor si

například tedy musíme dávat tehdy, pokud je místo odporu R1 zapojen potenciometr, kde může být hodnota odporu i blízka nule.



Obrázek 6.8: Zapojení s diodou

Obrázek 6.8 reprezentuje zapojení s diodou D. Kondenzátor C1 se tedy nabíjí přes odpor R1 a diodu D a vybíjí přes odpor R2. Na tomto zapojení si můžeme všimnout několika důležitých vlastností. Geniální vlastností, a i nespornou výhodou zapojení s časovačem 555 je nezávislost nabíjecích a vybíjecích časů a následně i frekvence obvodu na napájecím napětí. Této výhody je dosaženo tím, že vnitřní napěťový dělič obsažený v časovači 555, který slouží k nastavení referenčních napětí komparátorů je připojen na stejné napájecí napětí jako je připojena větev s kondenzátorem C1. Následné změny napájecího napětí se tak projeví v obou větvích zároveň a obvod tak pracuje s velkou přesností. To je také důvod velkého úspěchu časovače 555. Do obvodu jsme zapojili křemíkovou diodu D. Zapojením však došlo ke zhoršení výše zmíněných vynikajících vlastností, a to především kvůli špatné tepelné stabilitě diody. Zapojením jsme také ovlivnili i nezávislost na napájecím napětí. Výsledkem zapojení diody D je poté horší stabilita výstupní frekvence a zapojení s diodou se používá tedy jen tehdy pokud nám nevadí kolísající frekvence. Jistou pomocí je zapojení germaniové diody, která má co možná nejmenší napětí v propustném směru, avšak nevýhodou je její větší závislost na teplotě, než je tomu u diody křemíkové, proto je nutné zvážit i prostředí ve kterém bude obvod pracovat.

Část II

PRAKTICKÁ ČÁST

Kapitola 7

NÁVRH STMÍVAČE LED

7.1 Výběr návrhového SW

Pro návrh stmívače jsem si vybral software, který dovoluje jednoduché a přehledné tvoření schémat a následně také tvorbu plošných spojů. Svůj výběr jsem směřoval ke dvěma softwarům. Tím byl Eagle 7.7 a Formica 4.40. Ve svém základu se jedná o volně šiřitelné softwary, které dovolují zdarma tvorbu plošných spojů do určité velikosti nebo do počtu použitých součástek. Můj stmívač z důvodu kompaktních rozměrů a nepříliš velkého počtu použitých součástek nebyl tímto omezením zasažen.

Při rozhodování, který z programů použít jsem se rozhodl pro Formicu 4.40, a to z důvodu již předchozích zkušeností s tímto programem. Jedná se sice o starý software, ale díky rozšiřujícím knihovnám součástek, které jsou průběžně aktualizovány, lze ho plně využívat i dnes.

7.2 Požadované provedení výrobku

Výrobek (stmívač) jsem koncipoval jako univerzální box s co největšími možnostmi konektivity. Jedná se o box s rozměry [120 x 70 x 40 mm]. Připojit napájení lze dvěma způsoby a to jednak pomocí konektoru 5,5/2,1 mm běžný u napájecích zdrojů, či jsou připraveny i kolíkové svorky pro možnost napájení například z laboratorního zdroje. Napájet lze napětím 12 – 40 V DC. Výstup k připojení spotřebičů je řešen standardní svorkovnicí. Je připraveno více výstupů pro možnost zapojení více spotřebičů zároveň. Na čelní straně přípravku jsou umístěny ovládací, signalizační prvky a nadále vstupy pro připojení osciloskopu.

7.3 Návrh a výběr součástek

Můj výběr součástek byl ovlivněn dvěma skutečnostmi. Frekvence na výstupu v mém případě nehrála roli, při splnění podmínky, že bude vyšší než rozlišovací schopnost lidského oka. Dalším cílem bylo, využít co možná nejvíce součástek, které jsem již zakoupil dříve. Na obrázku 7.1 je zobrazeno konečné navržené schéma stmívače. Abych zajistil vyšší konektivitu, umístil jsem na napájecí vstup lineární regulátor na 12 V, tím jsem docílil rozmezí napájecího napětí od 12 V do 40 V. Z již zakoupených součástek jsem měl k dispozici potenciometr P o hodnotě 250 k Ω a rezistory R1 v několika hodnotách. Z již známých vztahů 6.1 - 6.5, jsem zvolil hodnotu kondenzátoru C1 a oscilační obvod byl navrhnout.

Výpočet frekvence:

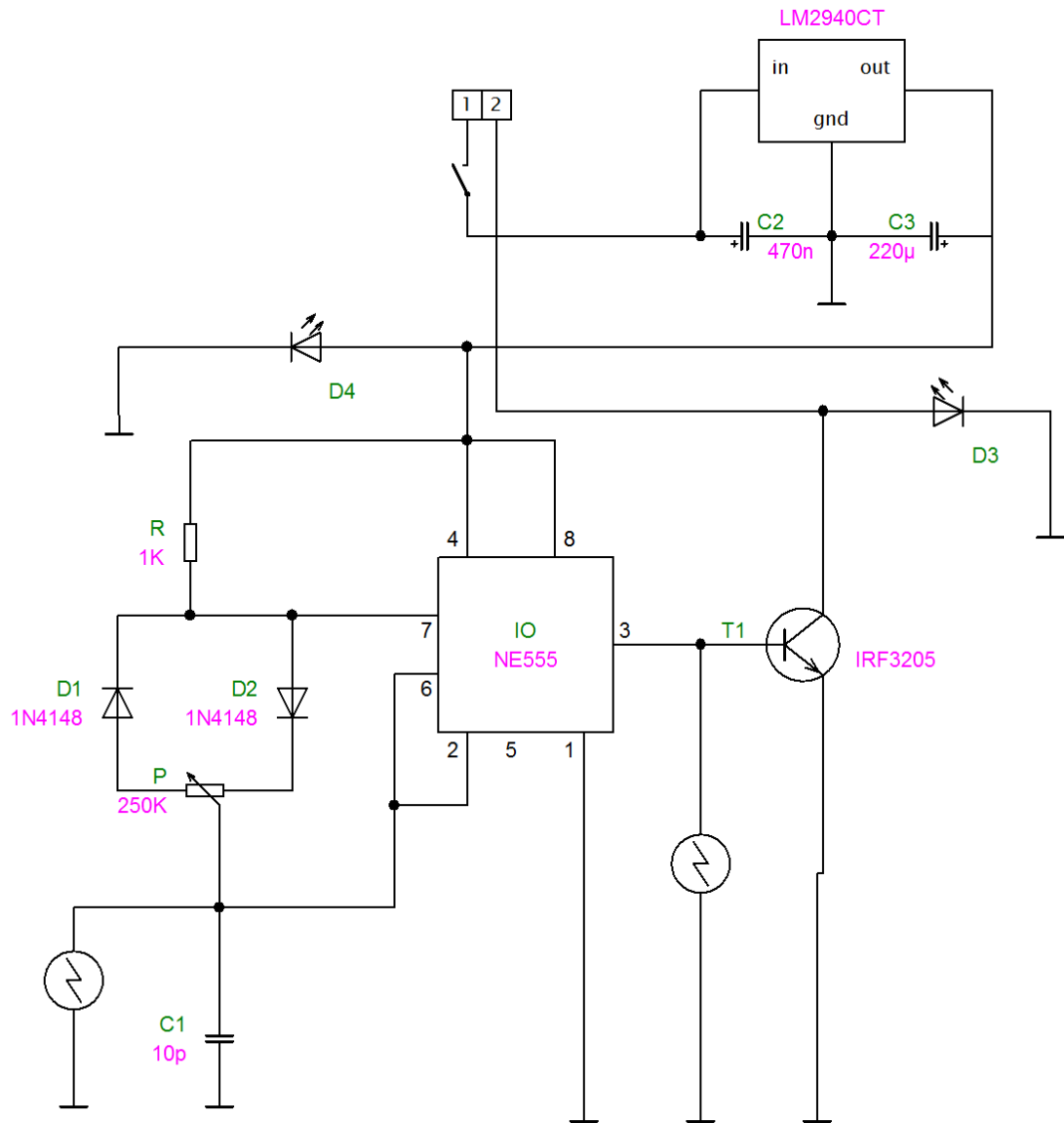
$$T1 = \ln(2) \cdot \left(1000 + \left(\frac{x}{250000} \right) \right) \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$T2 = \ln(2) \cdot 250000 - \left(\frac{x}{250000} \right) \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$T = T1 + T2 = \ln(2) \cdot (1000 + 250000) \cdot 10^{-8} = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{1,74 \cdot 10^{-3}} = 574,7 \text{ Hz}$$

Z provedených měření na osciloskopu a kolorimetru je však skutečná naměřená frekvence rovna přibližně 470 Hz, což je v porovnání s teoretickou hodnotou značně odlišná hodnota. Je však nutné si uvědomit, že jsou použity reálné součástky. Reálná hodnota potenciometru P se liší od teoretické o 12 % (namísto výrobní hodnoty 250 k Ω má 280 k Ω), nadále je použit kondenzátor C1 s výrobní tolerancí 20 %. Tyto dvě skutečnosti mohou značně ovlivnit a jak je z praxe ukázáno i ovlivňují jinak velmi přesný výpočet teoretické hodnoty. Pro návrhy stmívačů, kde na frekvenci výstupního signálu záleží, je nutné s touto skutečností počítat. Obvod je nadále doplněn o signalizační LED, dioda D3 signalizuje stav výstupu, vhodné například při použití stmívače v prostoru odděleném od připojených zařízení, nadále dioda D4 signalizuje stav zapnuto.



Obrázek 7.1: Celkové zapojení stmívače

7.4 Seznam použitých součástek

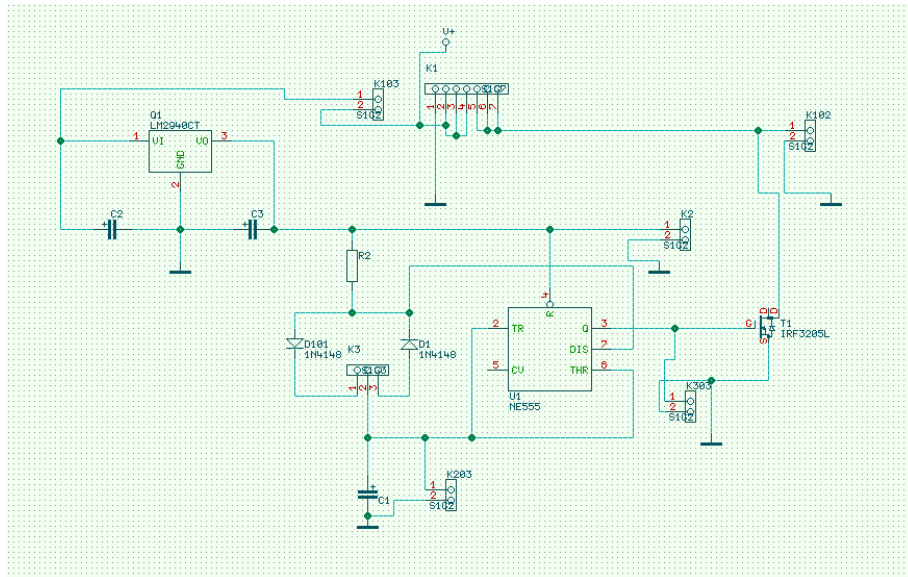
Součástka	Počet	Cena celkem
instalační krabička KM55 (120 x 70 x 40 mm)	1	66 Kč
LED 12V yellow	1	7 Kč
LED 12V green	1	7,50 Kč
objímka LED 5mm	2	12 Kč
potenciometr 250K mono	1	17 Kč
knoflík s ryskou 18,5 mm	1	34 Kč
zdířka panelová červená 4 mm	3	60 Kč
zdířka panelová černá 4 mm	2	40 Kč
rezistor 1K	1	2,60 Kč
tantalový kondenzátor 220 μ F	1	2,40 Kč
keramický kondenzátor 10 nF	1	4,40 Kč
elektrolytický kondenzátor 470nF	1	3,60 Kč
IO NE555NE DIP8	1	7,80 Kč
tranzistor IRF3205	1	25 Kč
stabilizátor napětí 12V LM2940CT	1	37 Kč
oboustranný kolík	20	4,10 Kč
kabel plochý	1m	34 Kč
Cena celkem	–	364,4 Kč

Tabulka 7.1: Seznam použitých součástek

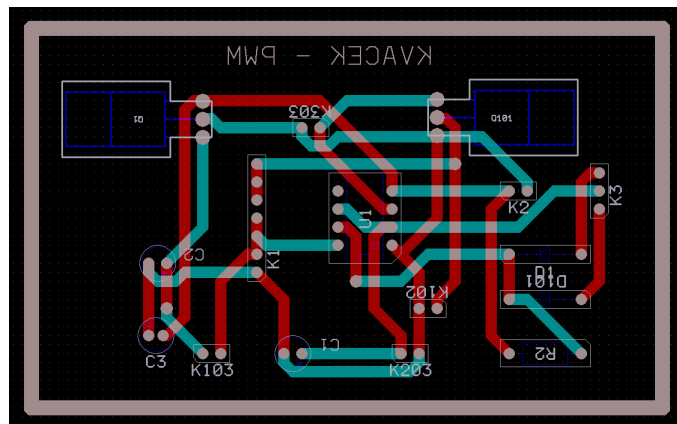
7.5 Výroba

Navržené schéma z obrázku 7.1 bylo převedeno do návrhového softwaru Formica, z důvodu následného návrhu plošného spoje. Návrhový systém Formica umožňuje vybírat potřebné součástky z obsáhlých knihoven a současně s výběrem lze zvolit, pokud jsou dostupná, různá pouzdra součástky. Na obrázku 7.2 lze vidět schéma převedené do programu Formica.

Následně jsem využil výhody tohoto programu a exportoval toto schéma do takzvaného „Layoutu“, kde se zobrazují již samotná pouzdra součástek s možnými propojeními s ostatními součástkami. Nyní bylo nutné navrhnout rozměry plošného spoje, na který se umístí součástky. Rozměry je nutné zvolit podle vnitřních rozměrů instalační krabice, do



Obrázek 7.2: Převedené schéma do programu Formica



Obrázek 7.3: Uspořádání součástek na plošném spoji

které bude celý plošný spoj zasazen. Na obrázku 7.3 je zobrazená finální podoba rozmístění a propojení součástek na plošném spoji. Pro lepší optimalizaci rozmístění jsem zvolil oboustranný tištěný spoj. Takto vytvořený návrh plošného spoje jsem zaslal do výroby.

Následovalo osazení plošného spoje. Z výroby jsem nechal vyvrtat veškeré otvory vrtákem 0,6 mm, což se ukázalo jako nevhodné. Následně jsem tedy musel některé otvory upravit vrtákem 0,8 mm. Poslední fází výroby bylo zasazení do instalační krabice. Ta byla nutná předem připravit a vyvrtat do ní otvory pro součástky. Následně bylo provedeno zasazení plošného spoje do instalační krabice. V příloze A jsou vloženy fotografie z výroby.

Kapitola 8

TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ VÝROBKU

8.1 Vlastní měření

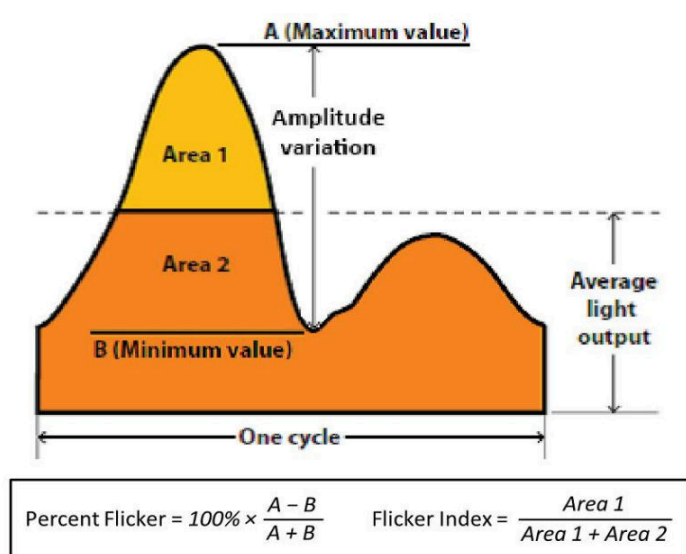
Na sestaveném stmívači bylo provedeno pomocí kolorimetru s možností snímání časového průběhu jasů měření závislosti jasů na střídě D a sledování úrovně flickeru. K navrženému stmívači jsem jako koncový spotřebič zakoupil LED pásky složené z tří modrých a červených LED. Pásky jsou napájeny napětím 12 V a mají výkon $\frac{4W}{m}$.

8.1.1 Flicker

Blikání, z angličtiny běžně přejato jako flicker je jev, který je přítomný ve všech světelných zdrojích. Jedná se o jev spojený s frekvencí vyzařovaného světla. Lidské oko je adaptováno na určitou maximální rozlišovací schopnost a vyzařované světlo frekvence nižší než přibližně 100 Hz může způsobit zpozorování blikání. To může způsobit mimo zrakové nepohody, také zdravotní potíže, neurologické problémy, bolesti hlavy, únavu, a podobně. Z tohoto prostého důvodu je vhodné se na toto zaměřit a při návrhu flicker hlídat. [11]

8.1.2 Použité zařízení

Měření bylo provedeno kolorimetrem Admesy Brontes. Na obrázku [8.2] je ilustrováno uspořádání měření.

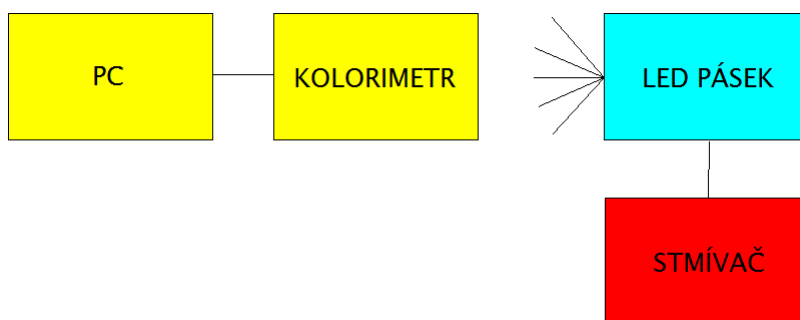


Obrázek 8.1: Postup zjišťování flickeru [12]

COLORIMETR ADMESY BRONTES

měřicí systém	3 x křemíková dioda
měřicí úhel	6°
frekvence měření svítivosti	18 kHz
frekvence měření barevnosti	5 kHz

Tabulka 8.1: Základní specifikace použitého přístroje



Obrázek 8.2: Uspořádání měření

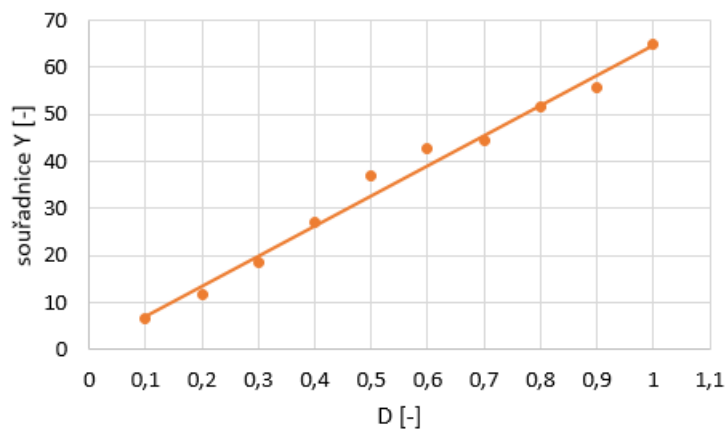
8.1.3 Výsledky měření

Měření probíhalo v celé pracovní oblasti stmívače, tedy od nejnižšího jasu až po jas maximální. Celkově bylo provedeno deset měření. Nastavovanou proměnou byla v tomto případě střída D, kterou jsem měnil s krokem od 0 do 1 s krokem 0,1. Naměřené průběhy jsou přiloženy v příloze B. Na obrázku 8.3 je znázorněna závislost souřadnice Y na střídě D. Použitý kolorimetr zaznamenává hodnoty v několika trichromatických soustavách. Pro

účely tohoto měření bylo nevhodnější zvolit soustavu XYZ, kde je souřadnice Y přímo úměrná jas. Z proložených hodnot je patrné, že s rostoucí střídou, respektive proudem do zátěže, roste jas lineárně. Nelze však předpokládat, že při dalším zvyšování proudu diodou, poroste jas stále úměrně proudu. To souvisí s ohřevem PN přechodu diody, tedy s tím, že více energie se přeměňuje v teplo nikoliv ve viditelné záření.

střída D [-]	Souřadnice Y [-]
0,1	6,43
0,2	11,69
0,3	18,35
0,4	27,02
0,5	36,99
0,6	42,63
0,7	44,44
0,8	51,56
0,9	55,72
1,0	65,09

Tabulka 8.2: Naměřené hodnoty kolorimetrem



Obrázek 8.3: Průběh souřadnice Y v kolorimetrické soustavě XYZ v závislosti na střídě D

Kapitola 9

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce měla za úkol především zmapovat vhodné možnosti napájení a řízení LED světelných zdrojů. Je rozdělena do dvou částí, kdy v první části jsem se zabýval především teoretickým popisem problematiky a v části praktické jsem tuto teorii ověřoval. Výsledkem je zjištění, že řídit a napájet LED zdroje není jednoduchou záležitostí a vyžaduje mnohé teoretické i praktické dovednosti, které mi tato bakalářská práce umožnila ze značné části osvojit.

V druhé části, která je stěžejní částí celé práce, jsem se zabýval sestrojením stmívače, pracujícího na základě PWM modulace. Tato část je koncipována jako ověření teoretických předpokladů uvedených v první části práce. PWM modulace je vhodný a často využívaný způsob jak docílit účinného a co nejméně ztrátového řízení LED. Povedlo se mi docílit navržený a sestrojení funkčního stmívače, kterým lze stmívat LED světelné zdroje či dokonce řídit otáčky elektromotoru. Provedení je realizováno tak, aby bylo možno stmívač připojit na osciloskop a pozorovat průběhy nabíjecího kondenzátoru a na výstupu stmívače. Vyrobený stmívač je tedy vhodný nejen pro konečné řízení zařízení, ale i pro demonstraci principu funkce PWM modulace.

Po tvorbě této práce mne napadá několik možných zlepšení či návrhů na další rozšíření této práce. Asi základní možností je implementace tohoto stmívače na úroveň softwaru. Respektive pokusit se tento stmívač vytvořit pomocí mikroprocesoru, respektive realizovat PWM modulaci softwarově. To by otevřelo mnohé možnosti, zejména mne napadá možnost vzdáleného ovládání. Další oblastí je aplikace tohoto stmívače na síťové napětí.

Literatura

- [1] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] PELANT, Ivan a Jan VALENTA. Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři. Praha: Academia, 2014. Průhledy (Academia). ISBN 978-80-200-2394-0.
- [3] VIDÁKOVO ELEKTRO [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://petr-kubac.blog.cz/1402/vidlakovo-elektro-70-svitivite-diody-1>
- [4] VÝROBA BÍLÝCH LED [online]. 2016 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/18-30-Valenta.html>
- [5] HISTORIE A SOUČASNOST LED [online]. 2012 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.retrast.cz/downloads/Manual_LED_PARAMETRU_M02_08082012_3.pdf
- [6] NAPAJENÍ LED SESTAV [online]. Dostupné z: <http://www.wireliled.cz/aplikacni-poznamky/napajeni-led-sestav/>
- [7] ELEKTROTECHNIKA ONLINE UČEBNICE [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/582>
- [8] SPÍNANÝ ZDROJ [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zcl/zdroje.htm>
- [9] VYŠŠÍ HARMONICKÉ - WWW.ELEKTRIKA.CZ [online]. 2014 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/resolveUid/8ba57985402594e8652bef484dac57f7>

- [10] ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPABILITA (EMC) - ČSN EN 61000-3-2 ed.3:2006: Kmenové normy - Emise - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu.
- [11] LIGHTING: FLICKER MEASUREMENTS [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://admesy.r.worldssl.net/wp-content/uploads/TechNoteFlicker.pdf>
- [12] LIGHTING: FLICKER MEASUREMENTS [online]. 2013 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.pro-lite.co.uk/File/Admesy_Flicker_measurement.pdf
- [13] KHAN, T. Q., P. BODROGI, H WINKLER a Q. T. VINH. LED Lighting: Technology and Perception [online]. Wiley-VCH, 2015 [cit. 2017-04-25]. ISBN 978-3-527-41212-9.
- [14] MANUÁLY [online]. 2005 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.formica.cz/manualy.html>
- [15] BRONTES HIGH SPEED LUMINANCE COLORIMETR [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.pro-lite.co.uk/File/brontes.php>
- [16] PANDATRON [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://pandatron.cz/>

Přílohy

Příloha A

FOTODOKUMENTACE VÝROBY STMÍVAČE



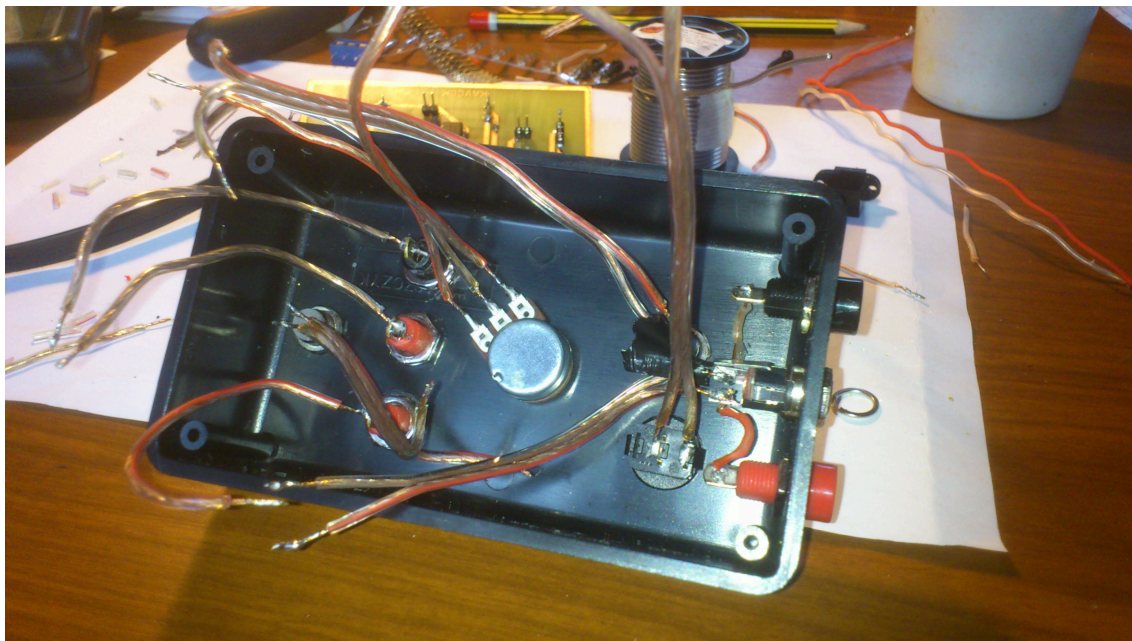
Obrázek A.1: Osazování instalační krabice součástkami



Obrázek A.2: Vrtání děr pro součástky



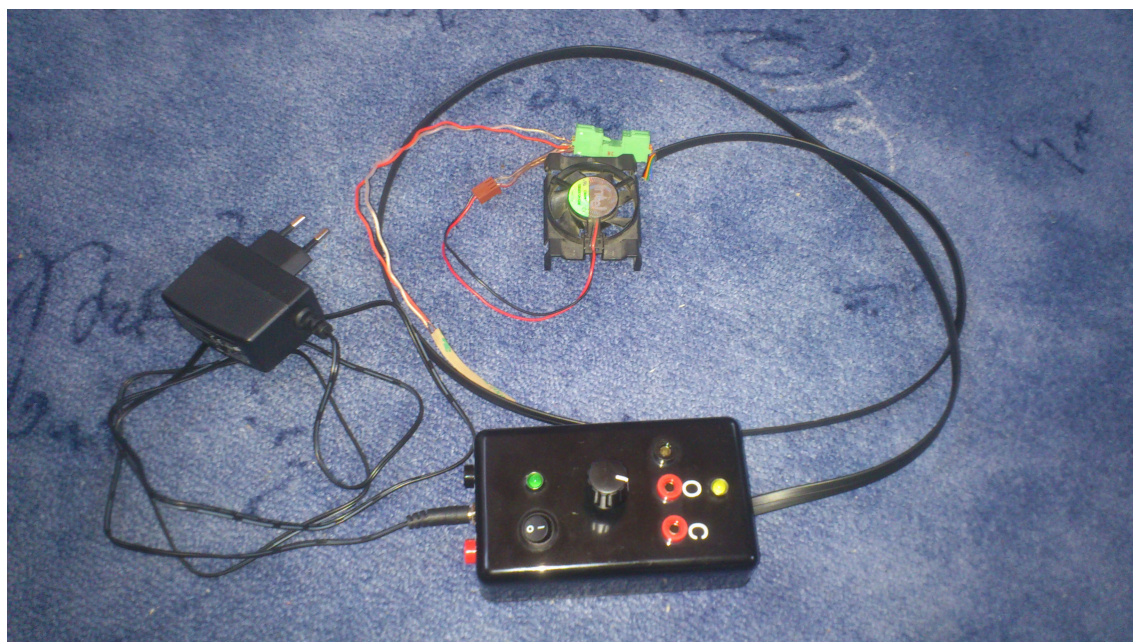
Obrázek A.3: Připravený a osazený plošný spoj a instalační krabice



Obrázek A.4: Propojení plošného spoje s instalační krabicí



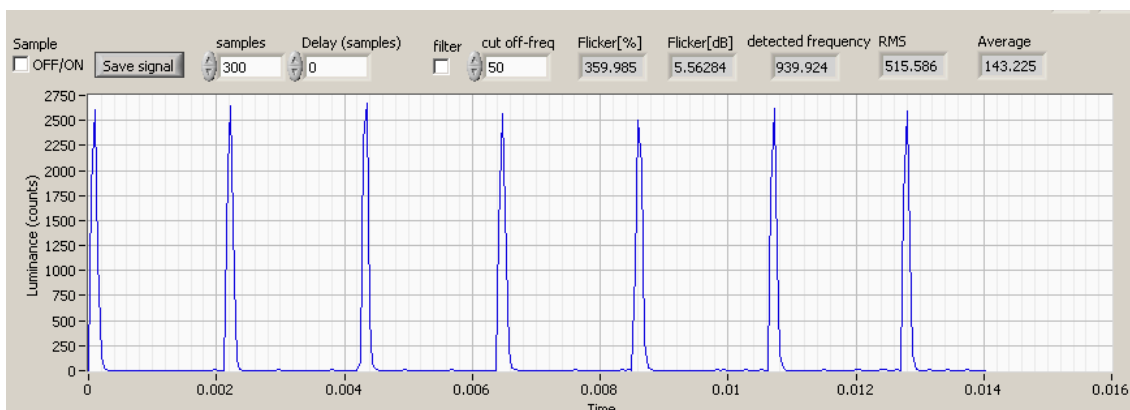
Obrázek A.5: Hotový přípravek



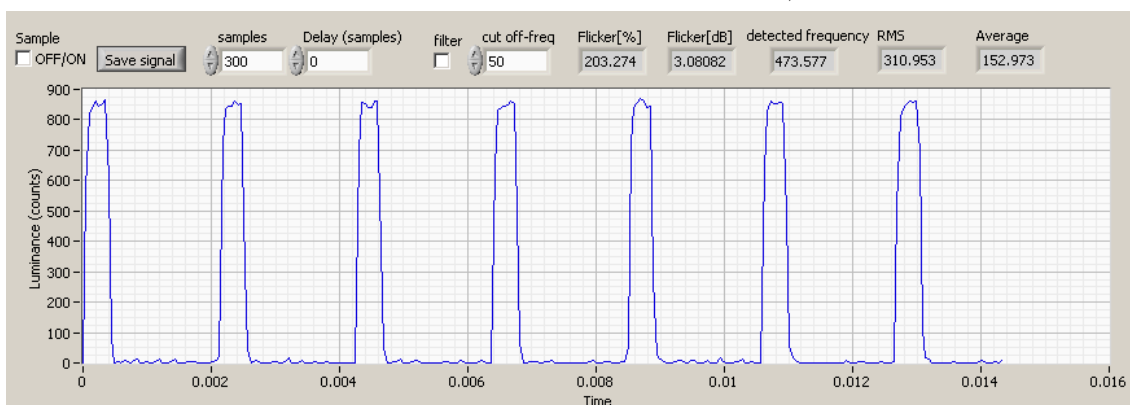
Obrázek A.6: Hotový přípravek s příslušenstvím

Příloha B

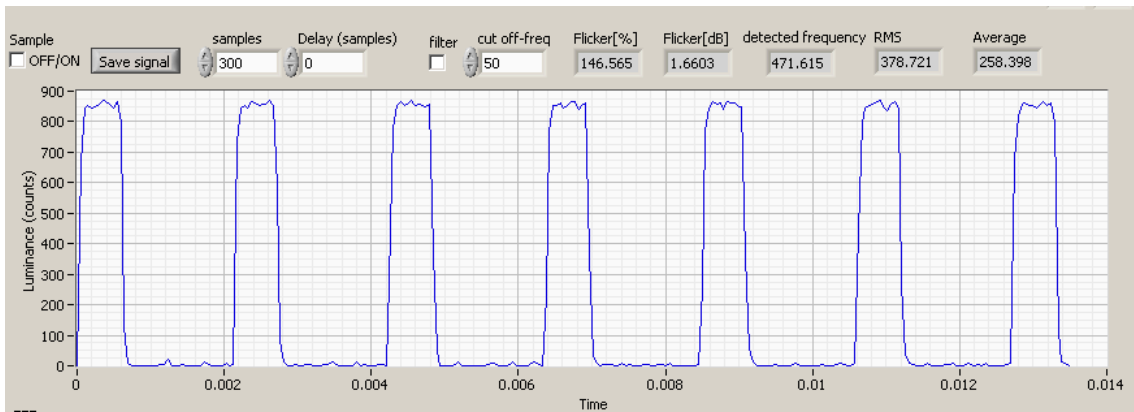
NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY JASU V ZÁVISLOSTI NA STŘÍDĚ



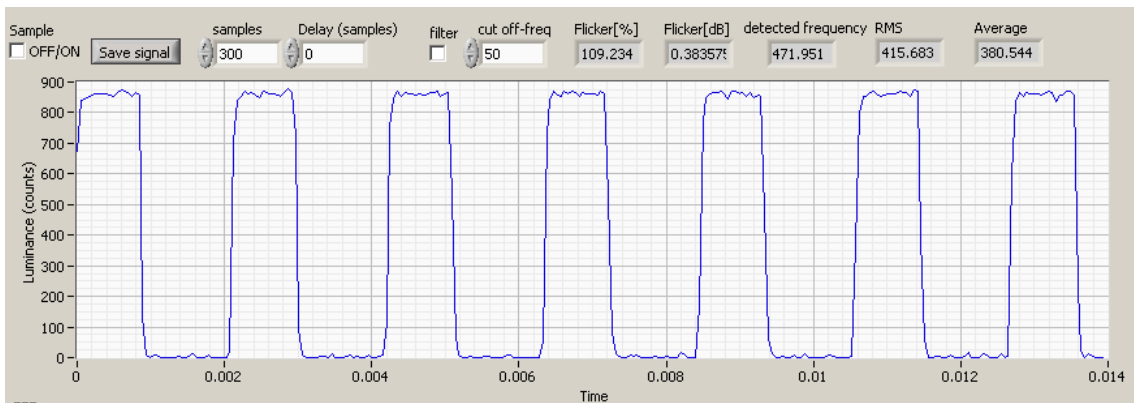
Obrázek B.1: Měření 1 - střída D = 0,1



Obrázek B.2: Měření 2 - střída D = 0,2



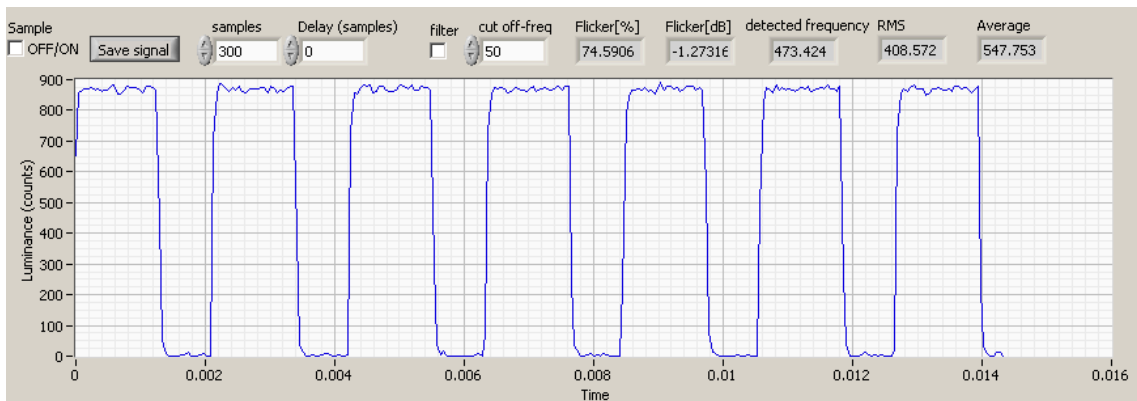
Obrázek B.3: Měření 3 - střída $D = 0,3$



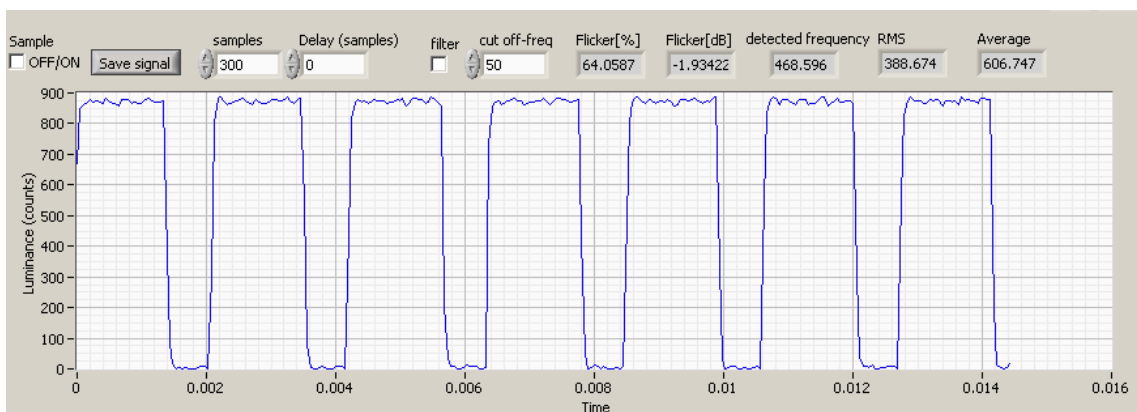
Obrázek B.4: Měření 4 - střída $D = 0,4$



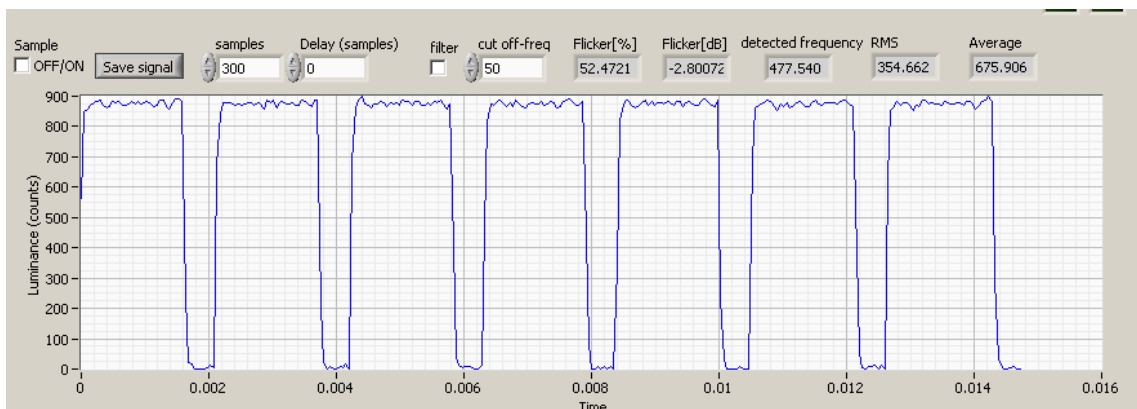
Obrázek B.5: Měření 5 - střída $D = 0,5$



Obrázek B.6: Měření 6 - střída $D = 0,6$



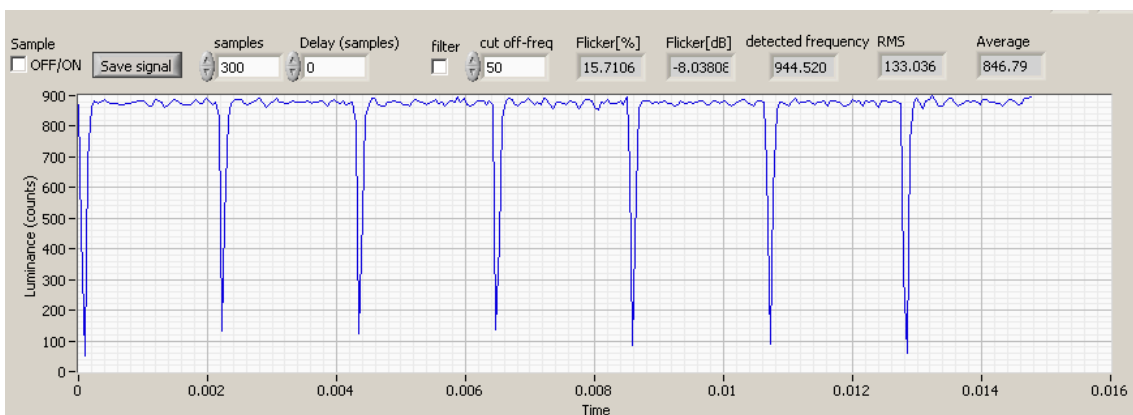
Obrázek B.7: Měření 7 - střída $D = 0,7$



Obrázek B.8: Měření 8 - střída $D = 0,8$



Obrázek B.9: Měření 9 - střída $D = 0,9$



Obrázek B.10: Měření 10 - střída $D = 1$