

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

DRIVER PRO VYSOCE SVÍTIVÉ BÍLÉ LED

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

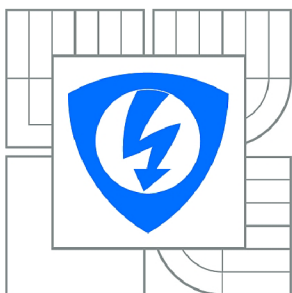
PETR TOMÁŠEK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

DRIVER PRO VYSOCE SVÍTIVÉ BÍLÉ LED

DRIVER OF HIGH BRIGHTNESS WHITE LED

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

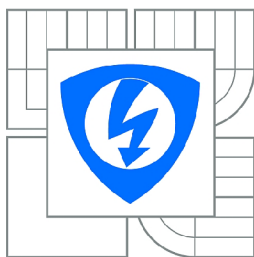
PETR TOMÁŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. TOMÁŠ FRÝZA, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Petr Tomášek

ID: 154896

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Driver pro vysoce svítivé bílé LED

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte specifiky řízení vysoce svítivých LED a vlastnosti těchto diod. Seznamte se s možností napájení malovýkonových elektrických zařízení ze sítě 230 V a potřebnými bezpečnostními pravidly. Najděte vhodné integrované obvody pro realizaci spínaného měniče a porovnejte jejich parametry. Vyberte vhodnou alternativu a teoreticky navrhnete blokové schéma celého modulu pro napájení řetězce LED zvoleného typu. Navrhnete kompletní schéma obvodu a desku plošného spoje.

Realizujte navržený modul a ověřte jeho funkčnost. Sadou měření otestujte jeho parametry. Ohodnoťte celkové vlastnosti a zvažte případná možná vylepšení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] NOVOTNÝ, V. Napájení elektronických zařízení. Skriptum. Brno: VUT FEI v Brně, 1999.

[2] KREJČIŘÍK, A. Napájecí zdroje 1 až 4. BEN, Praha 1996-1999.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 28.5.2015

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Josef Vochyán, Ph.D.

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, 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 návrhem spínaného zdroje, který umožní napájení LED řetězce ze síťového napětí 230V/50Hz. V úvodní kapitole je rozebrán princip funkce LED diod a jejich základní parametry. Druhá kapitola se věnuje rozboru problematiky zdrojů, včetně nejjednodušších, dnes již nepoužívaných alternativ. Třetí kapitola se zabývá spínanými zdroji, zejména snižujícím, zvyšujícím a invertujícím topologiím. Ve čtvrté kapitole se práce zabývá již konkrétním návrhem napájecího zdroje pro LED diody. V paté kapitole je rozebrána konstrukce samotného zdroje a výsledky jednotlivých měření parametrů zkonstruovaného zdroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spínaný zdroj, snižující měnič, buck, LED driver, vysocesvítivé LED, proudový zdroj

ABSTRACT

This document is analysing LED driving with switch power supply from classic electric network 230V/50Hz. First chapter analysis LED diodes function and its fundamental parameters . In the second chapter, there is essential information about electric power supply. Third chapter is analysing switch power supply, including simple techniques, which are not used nowadays. In the fourth chapter, there is analysis of LED driver and circuit design. Fifth chapter is analysing construction of driver and its safety. There i salso information about measuring of parameters of constructed driver.

KEYWORDS

Switch supply, step-down, buck, LED driver, high-brightness LED, current source

TOMÁŠEK, P. Driver pro vysocesvítivé bílé LED. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2015. 45 s., 5 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Josef Vochyán., Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Vochyánovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	vi
Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam rovnic	ix
Úvod	10
1 LED diody	11
1.1 Základní informace	11
1.2 Princip funkce	12
1.3 Řízení LED diod	14
1.4 Testovací řetězec – vysocesvítivé LED diody	14
2 ÚVOD DO NAPÁJECÍCH ZDROJŮ	18
2.1 Základní dělení napájecích zdrojů:	18
2.2 Zatěžovací charakteristiky zdrojů	19
3 SPÍNANÉ ZDROJE	21
3.1 Základní poznatky o spínaných zdrojích	21
3.2 Spínané zdroje bez indukčnosti (tzv. nábojové pumpy)	22
3.3 Invertující spínaný zdroj (buck-boost)	23
3.4 Zvyšující spínaný zdroj (boost, step-up)	24
3.5 Snižující spínaný zdroj (buck, step-down)	24
3.5.1 Princip funkce snižujícího zdroje	25
3.5.2 Návrhové vztahy pro snižující zdroj	26
4 Návrh zařízení	27
4.1 Blokové schéma zdroje	27
4.2 Vstupní obvody	28
4.2.1 Pojistka	28
4.2.2 Širokopásmový filtr	28
4.2.3 Usměrňovač	28

4.3	Řídící elektronika a spínací prvky	29
4.3.1	Řídící integrovaný obvod.....	29
4.3.2	Návrh obvodových prvků měniče.....	33
4.3.3	Spínací prvek – MOSFET tranzistor	34
4.4	Akumulační prvek – výkonová cívka	35
4.5	Hlavní usměrňovací dioda	36
4.6	Výstupní kondenzátor	36
5	Konstrukce zařízení a měření základních parametrů	37
5.1	Konstrukce zařízení	37
5.2	Měření základních parametrů měniče.....	40
6	Závěr	41
	Literatura	43
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	44
	Seznam příloh	45
A	Návrh zařízení	46
A.1	Obvodové zapojení	46
A.2	Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	47
A.3	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	47
A.4	Osazovací plán	48
B	Seznam součástek	49
C	Elektronická verze práce	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1.1: SCHÉMATICKÁ ZNAČKA LED DIODY [9].....	11
OBRÁZEK 1.2: V-A CHARAKTERISTIKA LED DIODY [10]	11
OBRÁZEK 1.3: PRINCIP ELEKTROLUMINISCENCE [11]	13
OBRÁZEK 1.4: KONSTRUKCE LED DIODY [10]	13
OBRÁZEK 1.5: SPEKTRUM ZÁŘENÍ LED 2835 WHITE [12]	15
OBRÁZEK 1.6: TEPLOTA CHROMATIČNOSTI SVĚTLA [13]	15
OBRÁZEK 1.7: SCHÉMA LED ŘETĚZCE	16
OBRÁZEK 1.8: NÁVRH DPS LED ŘETĚZCE.....	16
OBRÁZEK 1.9: ZÁVISLOST RELATIVNÍHO SVĚTELNÉHO TOKU DIOD NA PROUDU [12]	17
OBRÁZEK 2.1: BLOKOVÉ SCHÉMA SPOJITÉHO ZDROJE [1].....	18
OBRÁZEK 2.2: BLOKOVÉ SCHÉMA SPÍNANÉHO ZDROJE [1]	19
OBRÁZEK 2.3: ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY ZDROJE [2].....	19
OBRÁZEK 2.4: ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA PROUDOVÉHO ZDROJE	20
OBRÁZEK 2.5: ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA REÁLNÉHO PROUDOVÉHO ZDROJE	20
OBRÁZEK 3.1: STRUKTURA DC/DC ZDROJE	21
OBRÁZEK 3.2: PRACOVNÍ KVADRANTY SPÍNANÝCH ZDROJŮ	22
OBRÁZEK 3.3: NÁBOJOVÁ PUMPA, DĚLIČ NAPĚTÍ DVĚMA.....	23
OBRÁZEK 3.4: PRINCIPÁLNÍ ZAPOJENÍ INVERTUJÍCÍHO ZDROJE [3]	23
OBRÁZEK 3.5: PRINCIPÁLNÍ ZAPOJENÍ ZVYŠUJÍCÍHO ZDROJE [3]	24
OBRÁZEK 3.6: PRINCIPÁLNÍ SCHÉMA SNIŽUJÍCÍHO ZDROJE [4]	24
OBRÁZEK 3.7: PRACOVNÍ CYKLUS 1 - SEPNUTÝ TRANZISTOR T [4].....	25
OBRÁZEK 3.8: PRACOVNÍ CYKLUS 2 - ROZEPNUTÝ TRANZISTOR T	25
OBRÁZEK 3.9: PRŮBĚHY PROUDŮ A NAPĚTÍ NA OBVODOVÝCH PRVCÍCH SNIŽUJÍCÍHO ZDROJE V REŽIMU SPOJITÝCH PROUDŮ [4]	26
OBRÁZEK 4.1: BLOKOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉHO ZDROJE	27
OBRÁZEK 4.2: ODRUŠOVACÍ LC FILTR	28
OBRÁZEK 4.3: SCHÉMA USMĚRŇOVAČE	29
OBRÁZEK 4.4: INTEGROVANÝ OBVOD MICROCHIP HV9922 [14]	30
OBRÁZEK 4.5: TYPICKÉ ZAPOJENÍ OBVODU S HV9922 [14].....	30
OBRÁZEK 4.6: INTEGROVANÝ OBVOD POWER INTEGRATIONS LYT0006P	31
OBRÁZEK 4.7: TYPICKÉ ZAPOJENÍ LYT0006P	31
OBRÁZEK 4.8: BLOKOVÉ SCHÉMA AL9910A [5]	32
OBRÁZEK 4.9: SCHÉMA ZAPOJENÍ AL9910A JAKO SNIŽUJÍCÍHO MĚNIČE [5].....	32
OBRÁZEK 5.1: KONSTRUKČNÍ BOX KPZ5	37
OBRÁZEK 5.2: NÁVRH DPS SPÍNANÉHO MĚNIČE	38
OBRÁZEK 5.3: OSAZENÍ DPS	38
OBRÁZEK 5.4: FINÁLNÍ PODOBA SPÍNANÉHO ZDROJE.....	39
OBRÁZEK 5.5: TESTOVACÍ LED ŘETĚZEC.....	39
OBRÁZEK 5.6: PRŮBĚH NAPĚTÍ U _{G-S}	40
OBRÁZEK 5.7: PRŮBĚH VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ	40

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: SROVNÁNÍ PARAMETRŮ KLASICKÉ ŽÁROVKY A LED DIODY	12
TABULKA 2: VLASTNOSTI LED 2835 WHITE 16000/120 [12]	16
TABULKA 3: PARAMETRY USMĚRŇOVACÍHO MŮSTKU	29
TABULKA 4: SROVNÁNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ INTEGROVANÝCH OBVODŮ.....	33
TABULKA 5: VLASTNOSTI SPÍNACÍHO TRANZISTORU AOD4S60 [6].....	35
TABULKA 6: PARAMETRY VÝKONOVÉ CÍVKY [7]	36
TABULKA 7:PARAMETRY HLAVNÍ USMĚRŇOVACÍ DIODY [8]	36
TABULKA 8: NAMĚŘENÉ HODNOTY	41

SEZNAM ROVNIC

(1) NAPÁJECÍ NAPĚTÍ LED ŘETĚZCE	17
(2) VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ OBECNÉHO SPÍNANÉHO ZDROJE.....	26
(3) PROUD VÝKONOVOU CÍVKOU	26
(4) ZVLNĚNÍ VÝSTUPNÍHO PROUDU	27
(5) VELIKOST KAPACITY VYHLAZOVAČÍHO KONDENZÁTORU	27
(6) ŠPIČKOVÝ PROUD DIODOU	27
(7) STŘEDNÍ PROUD DIODOU	27
(8) VYHLAZOVACÍ KONDENZÁTOR [5].....	33
(9) VELIKOST SPÍNACÍ PERIODY	33
(10) VELIKOST SPÍNACÍ FREKVENCE	33
(11) VELIKOST ODPORU R_{OSC} [5].....	34
(12) VELIKOST ODPORU R_{SENSE} [5]	34
(13) ZTRÁTOVÝ VÝKON NA R_{SENSE}	34
(14) STŘÍDA SPÍNÁNÍ	35
(15) DOBA SEPNUTÉHO STAVU TANZISTORU	35
(16) VELIKOST INDUKČNOSTI VÝKONOVÉ CÍVKY [5].....	35
(17) VELIKOST VÝSTUPNÍHO KONDENZÁTORU	37
(18) VELIKOST PŘÍKONU MĚNIČE	41
(19) VELIKOST VÝKONU MĚNIČE	41
(20) VELIKOST ÚČINNOSTI MĚNIČE	41

ÚVOD

Používání elektrických spotřebičů se již stalo každodenní rutinou každého z nás. Vzhledem k nedostatku elektrické energie, její drahé výrobě, tedy i vzrůstající ceně, se energetická náročnost zařízení stává velice důležitým aspektem. Vzrůstající cena elektrické energie, a tím pádem i např. náklady na chod domácnosti, nutí vědce přemýšlet na vývojem efektivnějších elektrických spotřebičů. Poslední dobou, i díky zásahu Evropské Unie, dochází k nátlaku na snížení spotřeby elektrické energie při svícení. LED diody představují jednoduchou alternativu ke starším druhům svítidel, např. klasickým žárovkám nebo jejich halogenovým alternativám. Jejich nevýhodou je cena, nicméně svítivost a dlouhodobá výdrž tento fakt vyvažují. LED diody mají specifické napájení. Jako nejčastější alternativa se používají spínané zdroje, které patří svoji účinností ke špičce.

1 LED DIODY

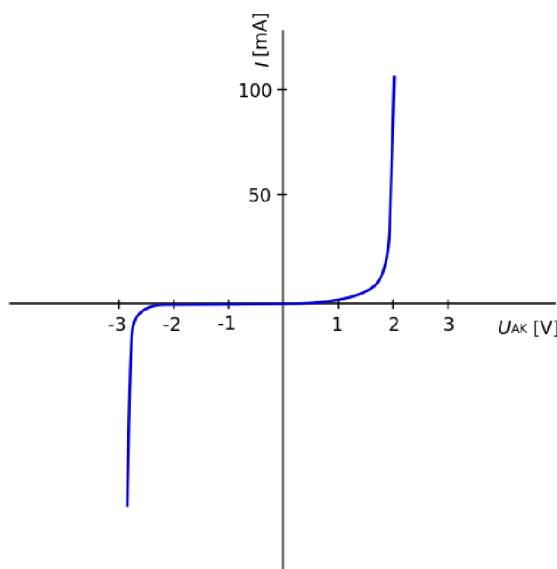
1.1 Základní informace

LED dioda (zkratka Light Emitting Diode, v překladu světlo emitující dioda) je v současnosti jeden z nejpoužívanějších zdrojů světla. V závislosti na použitém materiálu je k dispozici několik barevných druhů LED diod. Schématická značka LED diody je na Obrázek 1.1.



Obrázek 1.1: Schématická značka LED diody [9]

Na Obrázek 1.2 můžete vidět V-A charakteristiku typickou pro červenou LED diodu.



Obrázek 1.2: V-A charakteristika LED diody [10]

Z V-A charakteristiky je patrné, že propustné napětí pro tuto diodu je asi 1,8-1,9 V. Jedná se tedy o červenou LED diodu. Dioda začne emitovat fotony právě při přiložení propustného napětí (a většího). Pokud je přiloženo napětí opačné polaroty, LED dioda zůstane zavřená a PN přechod neemituje žádné fotony. Když velikost závěrného napětí přesáhne určitou hranici, tzv. maximální závěrné napětí, dojde k proražení a dioda ztrácí svoje vlastnosti a stává se nefunkční.

Výhody LED diod:

- Vysoká účinnost
- Nízká spotřeba (proti klasickým žárovkám)
- Životnost až desítky tisíc hodin
- Mnohem vyšší počet cyklu zapnutí-vypnutí
- Bezúdržbový provoz
- Odolné proti povětrnostním podmínkám
- Neobsahují rtuť a další nebezpečné látky

Nevýhody LED diod:

- Vyšší pořizovací cena
- Náročnější na napájení (proud musí mít požadovanou velikost a polaritu)
- Malý vyzařovací úhel

Po přepočítání nákladů se LED diody jeví jako vhodnější typ svítidla. Názorný příklad je uveden v Tabulka 1.

Tabulka 1: Srovnání parametrů klasické žárovky a LED diody

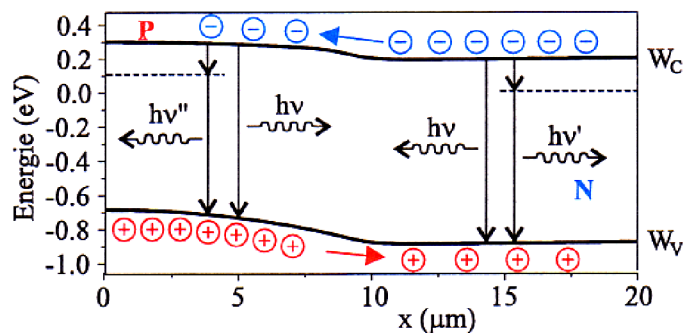
	Klasická žárovka	LED dioda 2835 White
Cena	12 Kč	4,40 Kč
Výkon	60W	0,48W
Světelný výkon	630lm	50lm
Efektivita	12 lm/W	104 lm/W
Výkon/cena	63 Kč/lm	11 Kč/lm

LED diody tedy jednoznačně vycházejí jako výhodnější varianta svítidla, i když tomu prvotní náklady neodpovídají. Nicméně i přes komplikovanější napájení jsou LED diody výhodnější alternativou ke klasickým žárovkám. Navíc v dnešní době lze spínané zdroje vhodně integrovat tak, aby komplikace s napájením byly v podstatě zanedbatelné.

1.2 Princip funkce

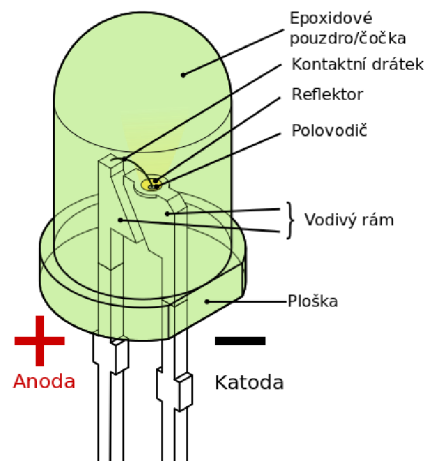
Je využíván princip elektroluminiscence, při níž je PN přechodem vyzařováno světlo o požadované vlnové délce. Při přechodu elektrického náboje přes PN přechod dochází k rekombinaci děr s elektrony, kdy elektrony kvůli přiloženému napětí (musí být orientováno v propustném směru) přecházejí na vyšší energetickou hladinu. Jak dlouho se zde elektron udrží, záleží na jeho stavu. Následně vyšší hladinu elektron opustí a přitom vyzáří elektromagnetické kvantum $h\nu$, jehož vlnová délka závisí na rozdílu energie nosiče náboje před a po rekombinaci (s rostoucí energií se zkracuje vlnová délka vyzářeného kvanta). Aby byl přechod elektronů na vyšší hladinu doprovázen vyzářením elektromagnetického kvanta $h\nu$, je nutné, aby byl PN přechod tvořen polovodičem s přímou pásovou strukturou, např. GaAs, nebo InP.

Na Obrázek 1.3 je přiblížen princip elektroluminiscence.



Obrázek 1.3: Princip elektroluminiscence [11]

Na Obrázek 1.4 je naznačena mechanická konstrukce klasické LED diody s vývody. Epoxidové pouzdro/čočka slouží ke směřování vyzářeného svazku do okolí. Ve vlastním polovodiči probíhá proces elektroluminiscence popsany výše. Reflektor slouží k odražení svazku fotonů do čočky.



Obrázek 1.4: Konstrukce LED diody [10]

Z počátku se LED diody využívaly jako signální kontrolky apod., protože nebylo možno dosáhnout takových vlastností, aby se mohly využívat jako zdroj světla namísto neúčinných klasických vláknových žárovek. Samotné LED diody nejsou schopny emitovat bílé světlo, proto se využívá luminoforů, podobně jako v zářivkách. Luminofor, který vyzářuje bílé světlo, může být buzen např. modrým nebo UV zářením.

SMD diody, které se v současnosti v oblasti osvětlení používají, je celek zapouzdřen v čírem nebo zbarveném epoxidu, nebo silikonovém gelu. Vlastnosti těchto materiálů určují další vlastnosti samotné LED diody, jako jsou vyzářovací úhel, nebo vyzářený světelný tok.

1.3 Řízení LED diod

LED diody mají specifické nároky na řízení. Musejí být buzeny zdrojem proudu. Integrovaný obvod použitý v navrhovaném spínaném zdroji umožňuje nastavit parametry výstupního proudu a napětí tak, aby byl zajištěn bezproblémový provoz LED diod. Výstupní napětí driveru musí mít co nejmenší zvlnění, stejně jako výstupní proud, v opačném případě by docházelo k negativním vlivům na výslednou funkci (problíkávání, stroboskopický efekt apod.). LED diody je možno napájet jak lineárními regulátory, tak spínanými drivery určenými primárně pro tento účel. Na trhu je k dispozici mnoho integrovaných obvodů, které umožňují konstrukci spínaných zdrojů pro řízení LED diod.

Rozhodující při návrhu zdroje pro řízení LED diod jsou především následující faktory:

- Velikost proudu diodami
- Úbytek napětí na diodě (tzv. propustné napětí)
- Celkový počet diod v řetězci
- Možnost změny jasu diod

V prvé řadě je nutno uvést, že diody se musí řídit stejnosměrným napětím a proudem, použití střídavých veličin by mělo za následek jejich nestandardní funkci nebo i destrukci.

Proud procházející diodou je dán výrobními vlastnostmi diody a je různý pro jednotlivé druhy diod. Např. pro obyčejné barevné signální diody je proud diodou roven $I=20mA$. Pro vysocesvítivé a výkonové LED diody může hodnota proudu dosahovat až jednotek ampér. Tyto případy jsou ale velice složité v otázce odvodu tepla, je nutné využívat pasivních i aktivních chladičů velkých rozměrů.

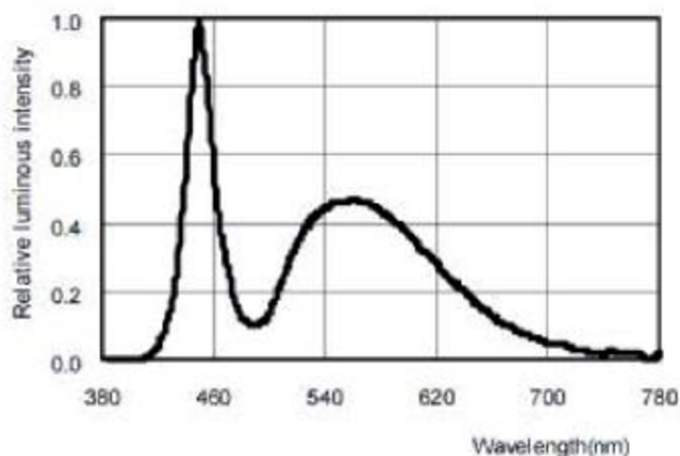
Propustné napětí diody, neboli úbytek napětí na diodě U_D , udává napětí, při kterém dojde k otevření PN přechodu v diodě. Po otevření PN přechodu začne diodou téci proud, který má za následek emitování fotonů, jak bylo zmíněno v předešlé kapitole, věnující se principu funkce LED diod.

Změna velikosti proudu procházejícího diodami má za následek změnu jasu. Změny velikosti proudu lze dosáhnout několika různými způsoby. Mezi nejpoužívanější patří tzv. Linear dimming a PWM (pulse-width modulation, pulzně šířková modulace). Integrované obvody, které jsou v současnosti pro řízení LED dostupné, umožňují využití obou způsobů změny jasu diod.

Obecně je nutné, aby všechny diody v jednom konkrétním řetězci napájeném jedním zdrojem měly stejné základní parametry, tzn. jmenovitý proud a propustné napětí.

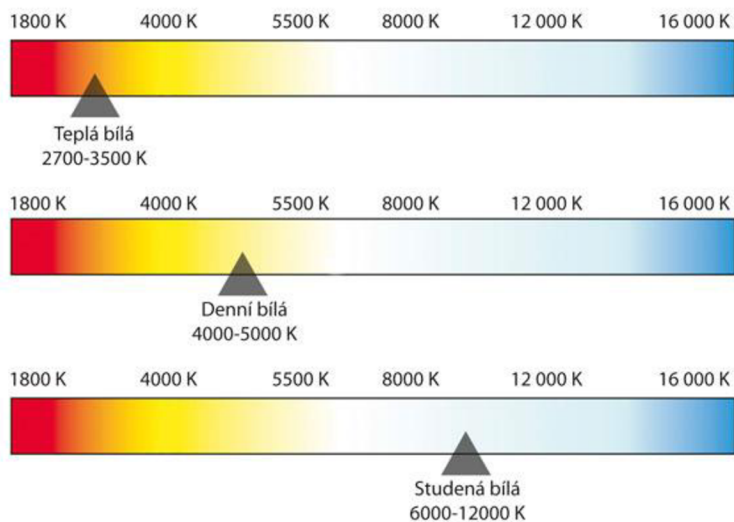
1.4 Testovací řetězec – vysocesvítivé LED diody

Vysocesvítivé LED diody mají oproti klasickým diodám vyšší jas, ale za cenu větších tepelných ztrát, které je třeba vykompenzovat chlazením, nebo alespoň zdokonalením odvodu tepla z desky plošných spojů. Dioda LED 2835 WHITE, použitá v testovacím řetězci má spektrum, které je znázorněno na Obrázek 1.5.



Obrázek 1.5: Spektrum záření LED 2835 WHITE [12]

Jak již bylo zmíněno, LED diody neumí samy vyzařovat bílé světlo, proto je nutné využívat luminoforů reagujících na vlnové délky, které jsou schopné LED diody vyzářit. V současnosti se nejvíce používají luminofory reagující na modré a UV záření. Z Obrázek 1.5 je patrné, LED dioda 2835 WHITE nejvíce vyzařuje záření o vlnové délce v rozmezí 430 nm až 460 nm, což odpovídá modré barvě vyzařovaného záření. Teprve pomocí luminoforů citlivých právě na modré světlo se uvolní světlo o barvě bílé. Existuje však několik odstínů bílé barvy. Odstín záleží na teplotě chromatičnosti vyzařovaného světla. Jednotlivé příklady teploty chromatičnosti jsou na Obrázek 1.6.



Obrázek 1.6: Teplota chromatičnosti světla [13]

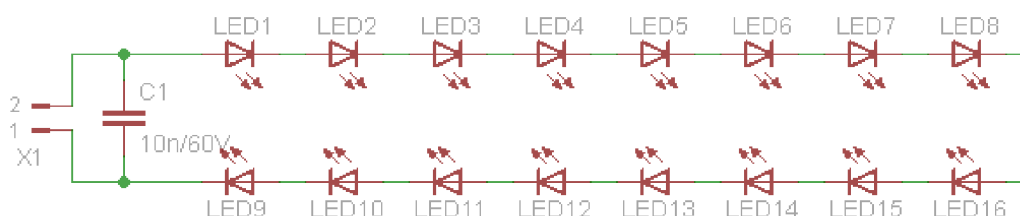
Teplá bílá odpovídá světlu klasické žárovky, je lehce nažloutlé. Denní bílá přibližně odpovídá, jak název napovídá, barvě denního světla. Studená bílá má modrý nádech. Diody použité v řetězci mají teplotu chromatičnosti asi 5250 K, což zhruba odpovídá dennímu světlu.

V Tabulka 2 jsou patrné základní vlastnosti diod LED 2835 WHITE použitých v řetězci, který se bude ovládat později navrženým spínaným zdrojem.

Tabulka 2: Vlastnosti LED 2835 WHITE 16000/120 [12]

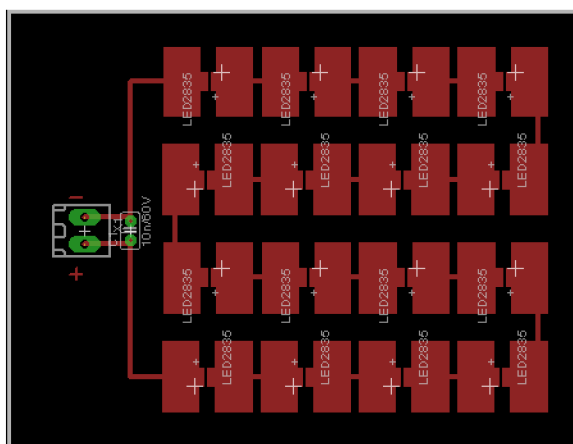
(při $i=150$ mA)		Minimální	Maximální
Svítivost	[mcd]	16000	16800
Světelný tok	[lm]	50	52,5
Propustné napětí	[V]	3,2	3,4
Teplota chromatičnosti	[K]	5000	5500
Ztrátový výkon	[mW]	-	540
Závěrné napětí	[V]	-	5
Pracovní teplota	[°C]	-40	85
Příkon	[mW]	-	480
Jmenovitý proud	[mA]	-	150

LED diody jsou řazeny do řetězce, jehož schéma je na Obrázek 1.7.



Obrázek 1.7: Schéma LED řetězce

Jak je patrné, jedná se o sériové zapojení 16ks LED diod. Na svorku X1-2 je přivedena kladná svorka z driveru, na X1-1 pak svorka záporná. Keramický kondenzátor C1 10n/60V je zapojen z důvodu omezení vlivů elektrostatických výbojů na LED diody. Návrh desky plošných spojů LED řetězce je na Obrázek 1.8. Plochy kolem samotných LED diod byly navrženy s dostatečnou rezervou vůči nebezpečí zničení LED diod z důvodu dlouhodobého překročení maximální pracovní teploty, která činí 85°C.



Obrázek 1.8: Návrh DPS LED řetězce

LED řetězec je složen ze 16ks LED 2835 WHITE. Celkové požadované napětí tedy bude rovno:

$$U = U_D \cdot n \text{ [V]} \quad (1)$$

Kde U_D je propustné napětí jedné LED a n je počet diod v řetězci.

Poté bude hodnota U_{MAX} a U_{MIN} rovna:

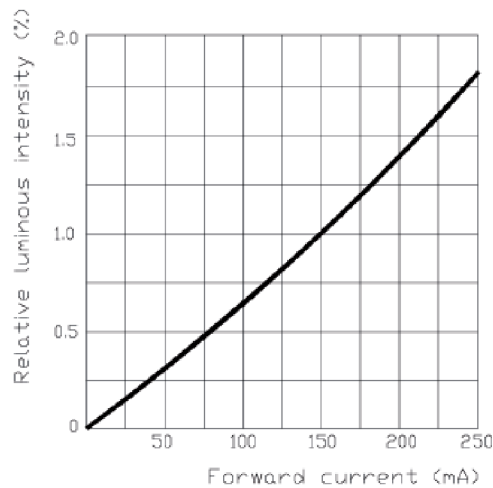
$$U_{MIN} = 3,2 \cdot 16 = 51,2 \text{ V}$$

$$U_{MAX} = 3,4 \cdot 16 = 54,4 \text{ V}$$

Maximální jmenovitý proud $I_{MAX}=150\text{mA}$ je uveden v datasheetu [12]. Jak uvádí Obrázek 1.9, světelný tok by se při proudu diodami $I=250\text{mA}$ skoro zdvojnásobil, nicméně by se životnost diod zkrátila na minimum, protože by zřejmě došlo k jejich destrukci vlivem vzniku velkého tepla, které by mělo za následek destrukci diody..

Forward Current VS. Relative Intensity

正向电流与相对光强曲线



Obrázek 1.9: Závislost relativního světelného toku diod na proudu [12]

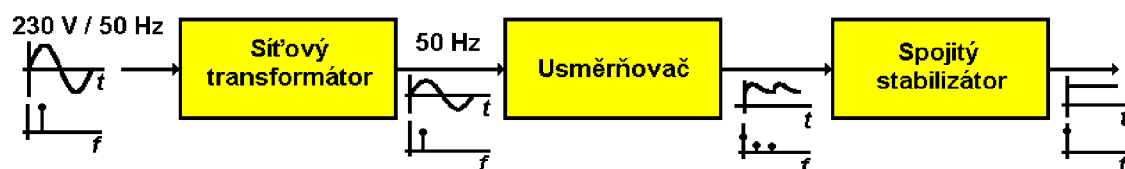
2 ÚVOD DO NAPÁJECÍCH ZDROJŮ

V současné době je nutnost napájením nejrůznějších přístrojů elektrickou energií nezbytná. Každý přístroj má svoje specifické nároky na napájení, proto můžeme v technické literatuře registrovat velice širokou škálu napájecích zdrojů a prvků. Pro správnou funkci daného přístroje je nutné zvolit správný typ napájení. Zde záleží např. na typu napětí (střídavé/stejnsměrné), požadovanému vstupnímu napětí, požadovanému proudu, tedy i celkového příkonu daného přístroje.

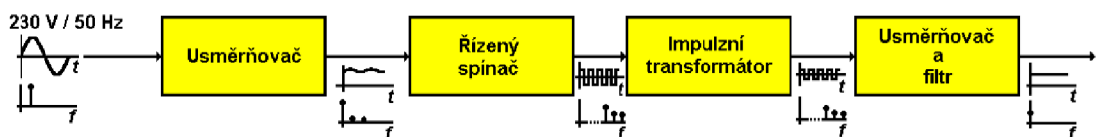
2.1 Základní dělení napájecích zdrojů:

- 1) Dle primárního zdroje elektrické energie:
 - Autonomní napájecí zdroje (solární články, elektrochemické zdroje)
 - Využívající elektrickou energii jiného primárního zdroje
- 2) Dle typu dodávaného výkonu:
 - Zdroje stejnosměrných proudů a napětí
 - Zdroje střídavých proudů a napětí
- 3) Dle základního principu činnosti:
 - Elektrochemické (suché články)
 - Elektromechanické (generátory, agregáty, alternátory, dynama)
 - Zdroje využívající elektrickou rozvodnou síť (napájecí zdroje, viz Obrázek 2.1 a Obrázek 2.2)
 - Ostatní (solární články apod.)
- 4) Dle povahy vnitřních dějů
 - Zdroje regulované
 - Zdroje neregulované

Práce se bude věnovat **napájecím zdrojům**, tudíž **zdrojům využívajícím elektrickou rozvodnou síť**.



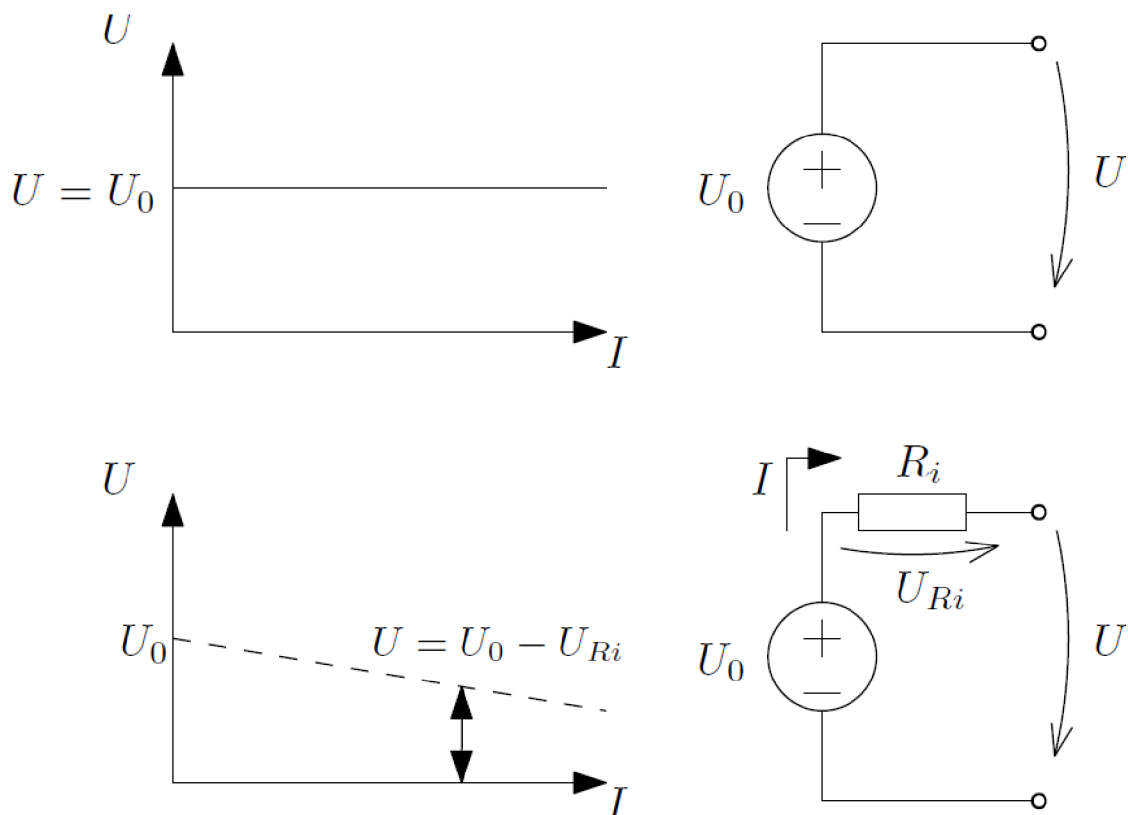
Obrázek 2.1: Blokové schéma spojitěho zdroje [1]



Obrázek 2.2: Blokové schéma spínaného zdroje [1]

2.2 Zatěžovací charakteristiky zdrojů

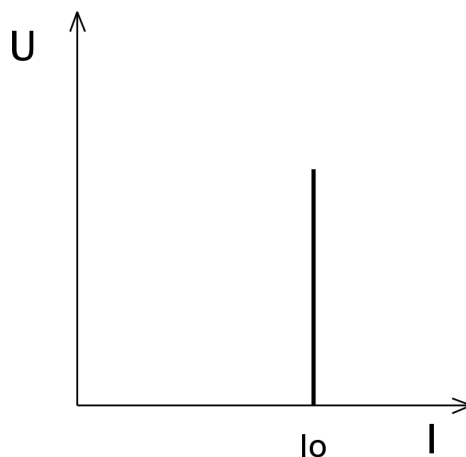
Každý napájecí zdroj má svoji tzv. zatěžovací charakteristiku (viz Obrázek 2.3), která popisuje jeho chování v obvodu, při daném výstupním proudu, nebo napětí.



Obrázek 2.3: Zatěžovací charakteristiky zdroje [2]

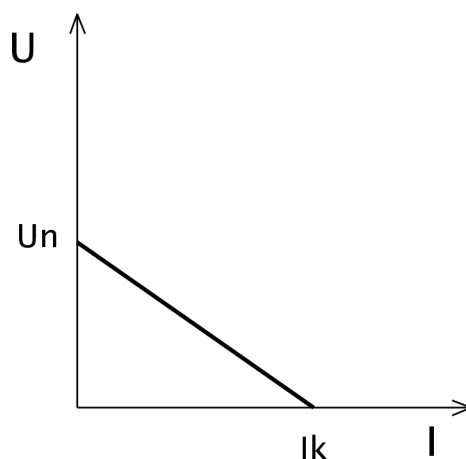
Jak je vidno z obrázku výše, ideální zdroj napětí by měl výstupní napětí konstantní při jakémkoliv výstupním proudu. Vzhledem k tomu, že každý reálný zdroj má nějaký vnitřní odpor, není jeho charakteristika konstantní, ale závislá na výstupním proudu. Tento průběh nemusí být nutně lineární. Tzv. stabilizované zdroje napětí mají, v použitelném rozsahu výstupních proudů, průběh zatěžovací charakteristiky takřka lineární, směrnice této funkce se blíží k hodnotě 1, tedy ke směrnici konstantní funkce.

Zatěžovací charakteristika ideálního zdroje proudu je však zcela jiná, než zdroje napětí. Příklad je na Obrázek 2.4.



Obrázek 2.4: Zatěžovací charakteristika proudového zdroje

Ideální zdroj proudu je tedy schopen dodávat do zátěže konstantní proud I_0 bez jakékoliv závislosti na velikosti zátěže. V praxi by to však znamenalo, že pokud by došlo k rozpojení obvodu, tak by zdroj vyvinul takové napětí, aby prorazil vzduch aby obvod uzavřel, což není reálné.



Obrázek 2.5: Zatěžovací charakteristika reálného proudového zdroje

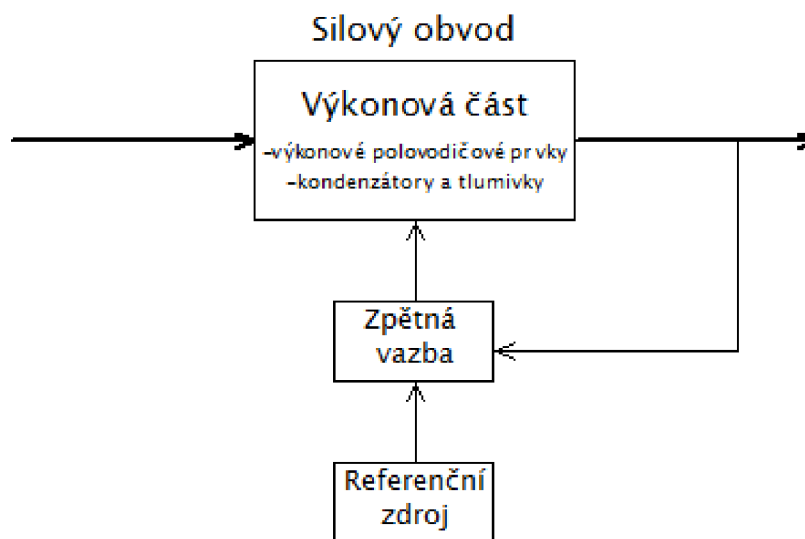
U reálného zdroje proudu klesá napětí na svorkách od napětí naprázdno $U=U_n$ k $U=0$ při zkratu, kdy ze zdroje teče proud nakrátko I_k .

3 SPÍNANÉ ZDROJE

Spínané zdroje jsou v současnosti používány v nejrůznějších elektronických zařízeních. Používají se především pro svoji účinnost (dosahující hodnot kolem 90%), malé rozměry a hmotnost. Mezi hlavní nevýhody spínaných zdrojů patří složitost návrhu a samotné realizace. Další nevýhodou spínaných zdrojů je náročnost na součástky, z nichž je zdroj sestaven. Kondenzátory, diody, a další součástky musí zvládat práci na velmi vysokých kmitočtech. V této kapitole jsou uvedeny pro názornost uvedeny i již nepoužívané typy spínaných zdrojů. Spínané zdroje mohou být konstruovány jak s transformátorem, tak bez transformátoru. V této práci je pozornost věnována spínaným zdrojům s neizolovanou typologií, tedy bez transformátoru (invertující, snižující a zvyšující).

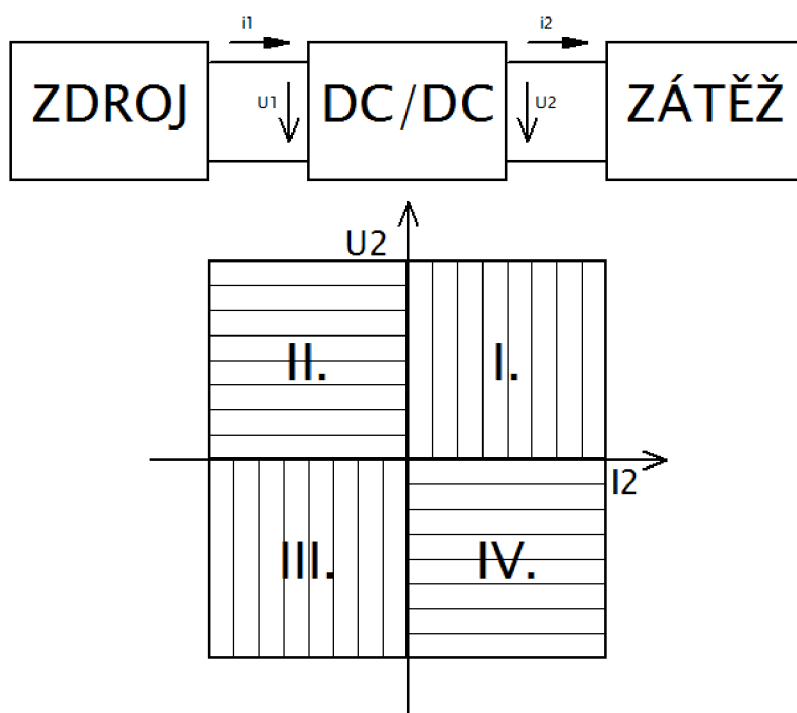
3.1 Základní poznatky o spínaných zdrojích

Obvod spínaného zdroje je zpravidla tvořen dvěma základními větvemi. Jedná se o tzv. **silový obvod** a tzv. **řídící elektroniku**, jak je patrné z Obrázek 3.1. Výkonová část obstarává spouštění spínací elektroniky, a v závislosti na výstupním napětí, které je pomocí zpětné vazby a referenčního zdroje sledováno, upravuje jeho vlastnosti.



Obrázek 3.1: Struktura DC/DC zdroje

Základní princip funkce spínaného zdroje spočívá v předávání energie do zátěže po částech, které jsou časově omezeny. Výstupní napětí nebo proud jsou poté pomocí akumulčních prvků vyhlazovány a upravovány do požadované formy. Spínané zdroje, v návaznosti na druh zátěže, mohou pracovat ve čtyřech různých kvadrantech, patrných z Obrázek 3.2.

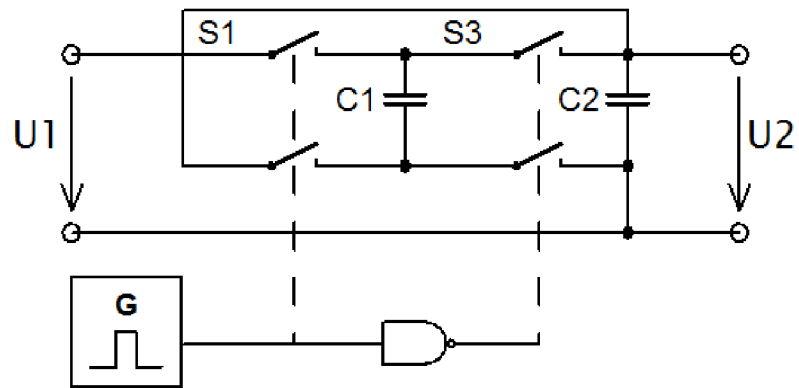


Obrázek 3.2: Pracovní kvadranty spínaných zdrojů

Pokud zdroj pracuje v I. nebo ve III. kvadrantu, dodává do zátěže energii. Pokud však zdroj pracuje v II. nebo ve IV. kvadrantu, dodává zátěž energii do zdroje. Toto je možné vysvětlit na jednoduchém příkladu: pokud je zátěží motor, a zdroj pracuje v I. nebo ve III. kvadrantu, motor je zdrojem poháněn. V pracovních kvadrantech II. a IV. motor brzdí. Pasivní zátěže mohou pracovat pouze v I. nebo ve III. kvadrantu.

3.2 Spínané zdroje bez indukčnosti (tzv. nábojové pumpy)

Nábojové pumpy pracují na principu jednotlivě spínaných kondenzátorů, které se opakovaně nabíjí a vybíjí. Každý kondenzátor má vlastní spínací tranzistor. Takovéto zdroje umí v závislosti na uspořádání napětí snižovat, zvyšovat i invertovat. Princip nábojové pumpy, jako děliče napětí dvěma, je naznačen na Obrázek 3.3.

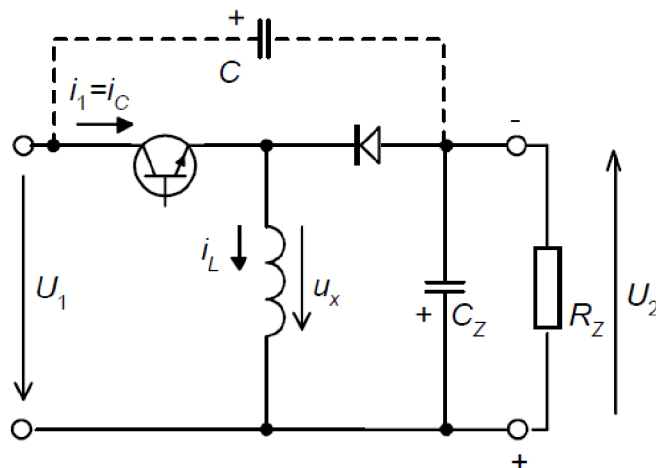


Obrázek 3.3: Nábojová pumpa, dělič napětí dvěma

Jak je patrné z obrázku, kondenzátory C_1 a C_2 jsou střídavě připojovány ke zbytku obvodu. Např. zatímco je C_1 připojen k obvodu - vybíjí se - a kondenzátor C_2 se nabíjí. Tato topologie se používá především pro nízké výkony, mezi její hlavní výhody patří malé rozměry a jednoduchý návrh a konstrukce, protože nejsou použity cívky, pouze kondenzátory.

3.3 Invertující spínaný zdroj (buck-boost)

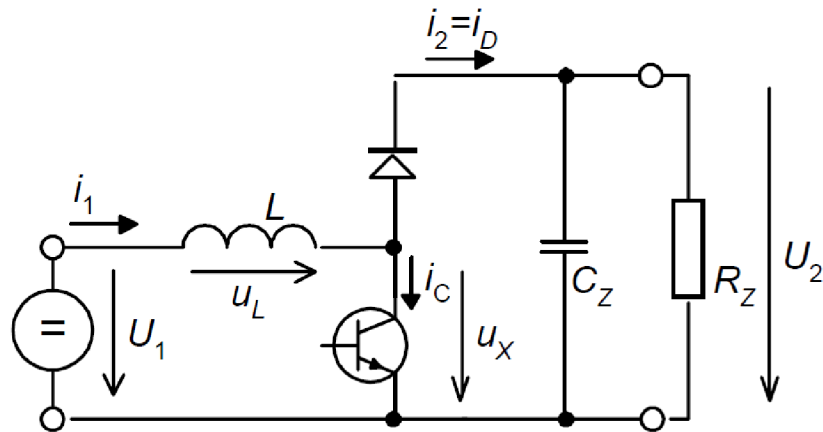
Tyto zdroje jsou používány pro změnu polaritv vstupního napětí. Výstupní napětí může být menší i větší (v absolutní hodnotě), než napětí vstupní. Výhodou tohoto zapojení je možnost překryvu vstupního a výstupního napětí. Nevýhodou je galvanicky neoddělené výstupní napětí, protože není použit oddělovací transformátor. Transformátory se nepoužívají kvůli nutnosti vyrábět je „na zakázku“ přímo pro každý zdroj, což je finančně velice nevýhodné. Proto je v zapojení tohoto zdroje použita cívka. Na Obrázek 3.4 je principiální schéma invertujícího zdroje.



Obrázek 3.4: Principiální zapojení invertujícího zdroje [3]

3.4 Zvyšující spínaný zdroj (boost, step-up)

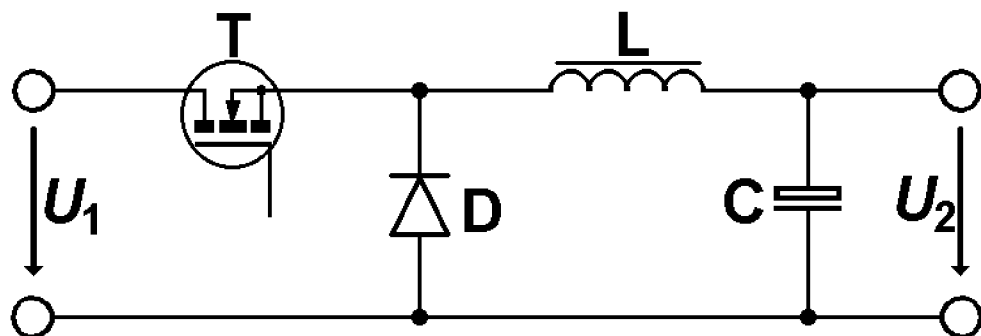
Zvyšující zdroje se používají pouze pro zvyšování vstupního napětí na vyšší napětí výstupní. Princip zdroje umožňuje použití i se záporným vstupním napětím, avšak výstupní napětí bude mít stejnou polaritu, jako napětí vstupní. Tyto zdroje mají časté použití jakožto zdroje zvyšující napětí z +5V (TTL logika) na +12V. Jejich základní výhodou je ta skutečnost, že mohou výstupní napětí několikanásobně zvětšit (až 10x) i bez použití transformátoru. Jednoduché schéma zvyšujícího zdroje je patrné na Obrázek 3.5.



Obrázek 3.5: Principální zapojení zvyšujícího zdroje [3]

3.5 Snižující spínaný zdroj (buck, step-down)

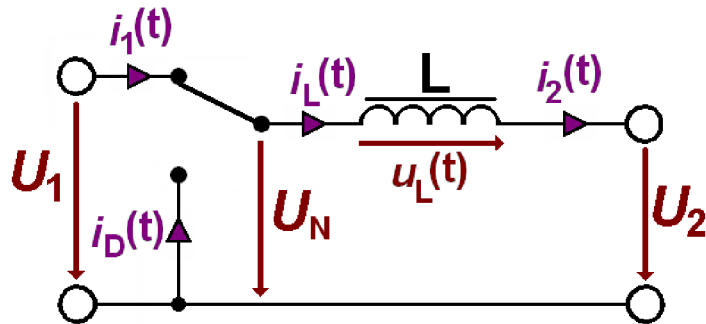
Snižující spínaný zdroj, jak již název napovídá, snižuje vstupní napětí na výstupní napětí o menší hodnotě a stejné polaritě. Výstupní napětí u takového měniče má vždy stejnou polaritu (proti společné zemní svorce). Proto jsou na trhu k dostání měniče pro zmenšování buď kladného, nebo záporného napětí proti zemní svorce. Oproti ostatním druhům spínaných zdrojů se snižující zdroj vyznačuje menším rušením do výstupu. Protože se tato práce zabývá návrhem snižujícího spínaného zdroje, teoretická část zabývající se tímto měničem bude obsáhlejší než u předchozích kapitol. Principiální schéma snižujícího zdroje je patrné na Obrázek 3.6.



Obrázek 3.6: Principiální schéma snižujícího zdroje [4]

3.5.1 Princip funkce snižujícího zdroje

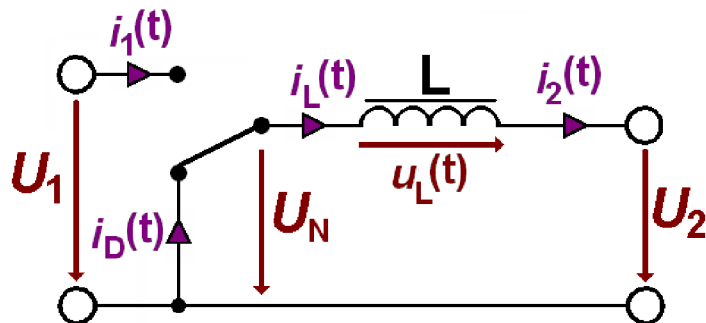
Princip funkce snižujícího zdroje je rozdělen do dvou pracovních cyklu, které jsou znázorněny pomocí Obrázek 3.7 a Obrázek 3.8.



Obrázek 3.7: Pracovní cyklus 1 - sepnutý tranzistor T [4]

Pracovní cyklus 1 (Obrázek 3.7):

Pokud je spínač T sepnutý, roste proud procházející cívkou i_L . Až výstupní napětí U_2 dosáhne požadované hodnoty, spínač T se rozezne. V tuto chvíli přichází na řadu pracovní cyklus 2.

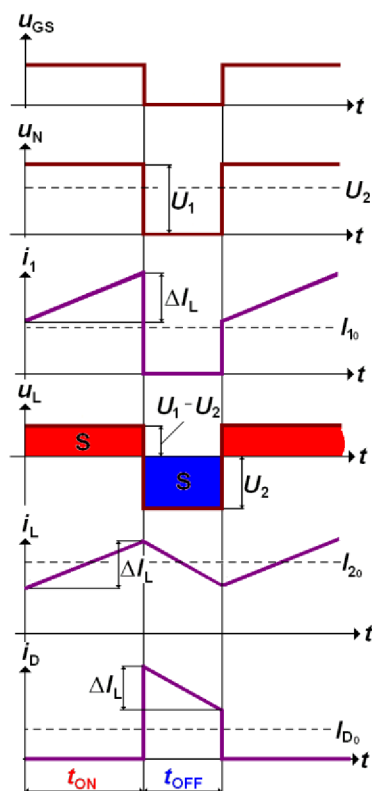


Obrázek 3.8: Pracovní cyklus 2 - rozeznutý tranzistor T

Pracovní cyklus 2 (Obrázek 3.8):

Až řídicí elektronika obvodu vyhodnotí, že výstupní napětí již dosáhlo požadované hodnoty, rozezne tranzistor T. Cívka invertuje svoji polaritu a přes diodu D vybíjí svoji energii, až výstupní napětí klesne a řídicí elektronika opět sepne tranzistor T, čímž se obvod dostane do pracovního cyklu 1.

Průběhy na jednotlivých prvcích snižujícího zdroje jsou patrné na Obrázek 3.9.



Obrázek 3.9: Průběhy proudů a napětí na obvodových prvcích snižujícího zdroje v režimu spojitých proudů [4]

První část obrázku znázorňuje napětí u_{gs} (gate-source) o dané střídě s , které spíná tranzistor v obvodu měniče. Když je tranzistor sepnut, napětí u_n je rovno napájecímu napětí. Proud i_l prochází cívkou a vytváří zde magnetické pole. Po rozeptnutí spínače napětí na cívce u_L invertuje polaritu (Lenzův zákon) a přes diodu se začne vybíjet, což je znázorněno průběhy i_L a i_D .

3.5.2 Návrhové vztahy pro snižující zdroj

Návrhové vztahy převzaty z [4]. V režimu spojitých proudů pracuje snižující měnič následovně. Výstupní napětí U_2 je dáno velikostí vstupního napětí U_1 a velikostí střídy spínání s .

$$U_2 = U_1 * s [V] \quad (2)$$

Proud i_L tekoucí cívkou:

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u_L(t) dt + I_{L0} [A] \quad (3)$$

Kde L je indukčnost cívky, u_L je časový průběh napětí na cívce a I_{L0} střední hodnota proudu.

Zvlnění výstupního proudu ΔI_L :

$$\Delta I = \frac{1}{L} * (U_1 - U_2) * t_{on} = \frac{U_2 * t_{off}}{L} = \frac{U_1 * s * (1 - s)}{L * f} \quad (4)$$

Empirický vztah pro velikost kapacity vyhlazovacího kondenzátoru:

$$C = \frac{\Delta I_L * T}{8 * \Delta U_{2MAX}} [F] \quad (5)$$

Kde ΔI_L je zvlnění proudu cívkou, T je perioda spínání a ΔU_{2MAX} je zvlnění výstupního napětí.

Polovodičové součástky v obvodu (spínací tranzistor a dioda) se dimenzují podle (6) a (7), kdy špičkový proud obvodem I_2 nesmí přesahovat kolektorový proud tranzistoru I_C (6). Dioda se dimenzuje na střední hodnotu proudu dle (7).

$$i_{cMAX}(t) = I_2 [A] \quad (6)$$

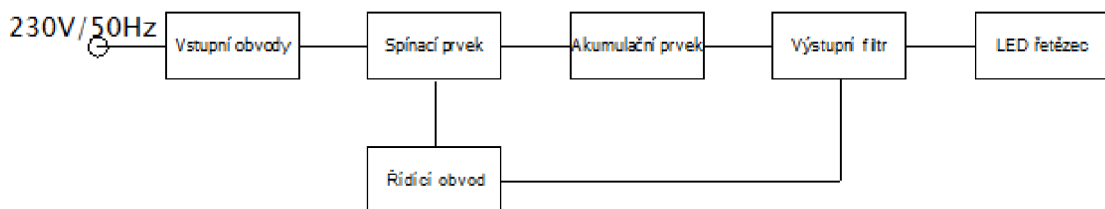
$$I_{Dstř} = I_2 * (1 - s) [A] \quad (7)$$

4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola je věnována samotnému návrhu zařízení. Bude rozebráno několik možných variant návrhu zařízení. Návrh zařízení bude postupovat podle blokového schématu uvedeného v následující podkapitole. Měnič bude ze sítě 230V/50Hz napájet řetězec 16ks LED diod 2835 WHITE (proud $I_F=150\text{mA}$ a úbytek $U_F=3,2\text{V}$). Výstupní proud měniče bude tedy 150mA a výstupní napětí 51,2V. Teoretický výkon měniče bude tedy 7,2W.

4.1 Blokové schéma zdroje

Navržené blokové schéma je patrné na Obrázek 4.1.



Obrázek 4.1: Blokové schéma navrhovaného zdroje

Jednotlivým blokům se věnují následující kapitoly.

4.2 Vstupní obvody

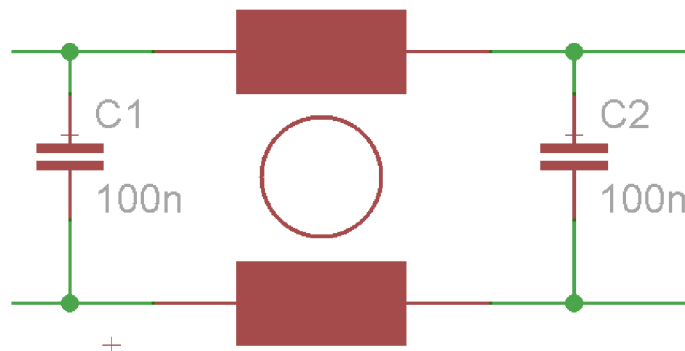
Vstupní obvod navrhovaného spínaného zdroje má tři základní části: pojistku, širokopásmový filtr a dvoucestný usměrňovač (tzv. Graetzův můstek), který zabraňuje pronikání rušivých signálů ze zdroje do sítě.

4.2.1 Pojistka

Pojistka chrání obvod celého driveru proti nadproudům a zkratům. Je zabudována na DPS na fázovém vodiči. Její maximální proud je 125mA.

4.2.2 Širokopásmový filtr

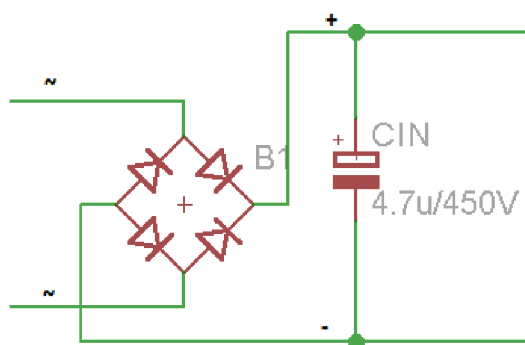
Širokopásmový filtr je schopen filtrovat rušení pronikající ze spínaného zdroje do sítě až do řádu desítek MHz. Pronikající rušení by mohlo mít negativní vliv na funkci ostatních zařízení zapojené do rozvodné sítě 230V/50Hz. Jako širokopásmový filtr byl použit klasický odrušovací LC filtr, jeho schéma je na Obrázek 4.2. Jako kondenzátory C1 a C2 byly použity fóliové kondenzátory KEMET R46 o kapacitě $100\text{nF} \pm 10\%$ a jmenovitém napětí 275VAC. Byla použita také proudově kompenzovaná cívka se společným jádrem KEMET SU9VD o indukčnosti $2 \times 10\text{mH}$. Jmenovitý proud této cívky je 0,7A. Tento filtr je schopen tlumit jak soufázové, tak protifázové rušení.



Obrázek 4.2: Odrušovací LC filtr

4.2.3 Usměrňovač

Pro usměrnění vstupního střídavého napětí lze použít tzv. Graetzův usměrňovací můstek. Schéma použitého dvoucestného Graetzova usměrňovače je patrné na Obrázek 4.3. Diody musejí být dimenzovány na dvojnásobek vstupního napětí. V současnosti jsou na trhu k dostání již vyhotovené usměrňovací můstky jakožto jedna součástka. Jejich využití nahrává výhodná cena a jednoduchost provedení.



Obrázek 4.3: Schéma usměrňovače

Pro usměrnění vstupního proudu a napětí bude použit usměrňovací můstek, jehož parametry jsou uvedeny v Tabulka 3. Pro vyhlazení napětí je na výstup graetzova můstku zařazen elektrolytický kondenzátor o kapacitě $4,7\mu\text{F}/450\text{V}$.

Tabulka 3: Parametry usměrňovacího můstku

Výrobce	Fairchild Semiconductor
Typ	DF08M
Špičkové závěrné napětí	800 V
Max. efektivní hodnota závěrného napětí	560 V
Max. nárazový proud	50 A
Jmenovitý proud	1,5A
Propustné napětí	1,1 V
Max. zpětný únikový proud	5 μA
Pouzdro	DIP

4.3 Řídící elektronika a spínací prvky

Řídící integrovaný obvod je „srdcem“ každého spínaného zdroje. Základním úkolem daného integrovaného obvodu je spínání tranzistoru na dané frekvenci a na základě vyhodnocení velikosti výstupního napětí tuto frekvenci případně upravit. Na trhu je v současnosti k dispozici nemalý počet integrovaných obvodů, které jsou vhodné primárně pro použití v LED drivech. Ještě před návrhem daného zdroje je však nutné předem pevně stanovit zátěž, tzn. výstupní napětí a proud, protože většinou již není možné tyto parametry upravit bez zásahu do obvodu zdroje.

4.3.1 Řídící integrovaný obvod

LED drivery mají, spolu s LED diodami, velkou škálu využití. Pro různé aplikace je možno využít různé druhy driverů. Hlavními atributy jsou velikost a druh vstupního napětí, velikost výstupních veličin, proudu a napětí a v neposlední řadě také možnost velikost těchto veličin ovlivnit, např. pro regulaci jasu, apod. Proto lze LED budiče

rozlišovat do 2 základních skupin, především v závislosti na vztahu vstupního a výstupního napětí. Budiče mohou být zvyšující (výstupní napětí je větší než vstupní) nebo snižující (výstupní napětí je menší než vstupní). Pro splnění zadání této bakalářské práce jsou stěžejní integrované obvody umožňující využití síťového napětí, případně usměrněného síťového napětí, bez využití transformátoru.

MICROCHIP HV9922N8-G

Tento integrovaný obvod patří mezi nejjednodušší snižující LED drivery. S tím také koresponduje složitost výsledného obvodu napaječe. Integrovaný obvod je znázorněn na Obrázek 4.4.

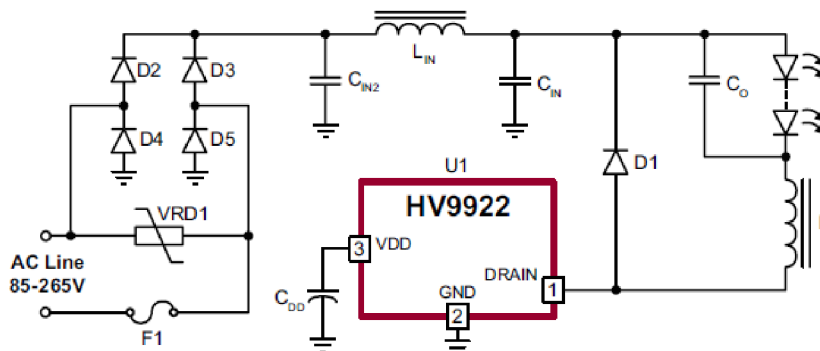


Obrázek 4.4: Integrovaný obvod Microchip HV9922 [14]

Je určen především pro nejjednodušší LED aplikace, jako jsou orientační svítidla a kontrolky. Atributy tohoto integrovaného obvodu jsou následující [14]:

- Rozsah vstupních napětí: 85-265VAC
- Výstupní proud 50mA
- Integrovaný MOSFET tranzistor
- Spínací frekvence 95kHz

Jak je patrné z Obrázek 4.5, výsledné zapojení je velmi jednoduché.



Obrázek 4.5: Typické zapojení obvodu s HV9922 [14]

Limitujícím faktorem tohoto snižujícího měniče je především pevně stanovený výstupní proud 50mA. Dále pak není možné měnit intenzitu jasu diod. Proto je tento jednoduchý měnič určen spíše pro napájení nenáročných nízkovýkonových a orientačních svítidel. Představuje však vhodnou a jednoduchou alternativu pro již zmíněné typy svítidel.

POWER INTEGRATIONS LYT0006P

Tento integrovaný obvod, znázorněný na Obrázek 4.6: Integrovaný obvod Power Integrations LYT0006P, umožňuje pokročilejší funkce, než zmiňovaný HV9922N8-G. Využití obvodu je univerzální, svými vlastnostmi umožňuje konstrukci měniče typu buck, buck-boost, boost i flyback (izolovaná topologie). Spínací MOSFET je integrován přímo v čipu, proto je omezena velikost výstupního proudu.

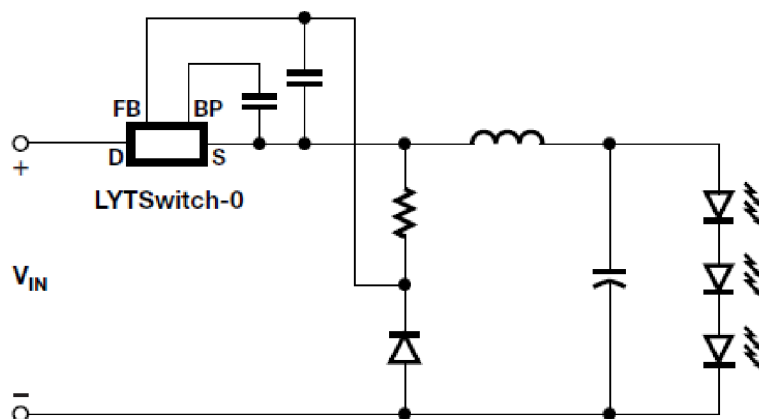


Obrázek 4.6: Integrovaný obvod Power Integrations LYT0006P [15]

Základní vlastnosti:

- Rozsah vstupních napětí: 85-308VAC
- Maximální výstupní proud: 280mA
- Integrovaný MOSFET tranzistor
- Spínací frekvence: 66kHz

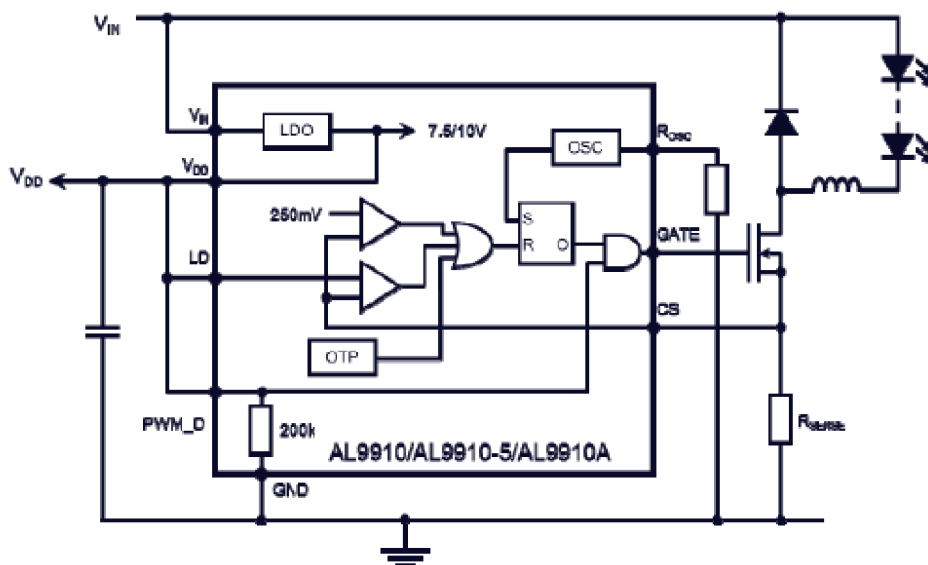
Příklad obvodového zapojení měniče buck je na Obrázek 4.7. Předpokládá se, že na svorka V_{IN} je usměrněné síťové napětí.



Obrázek 4.7: Typické zapojení LYT0006P [15]

Diodes Incorporated AL9910

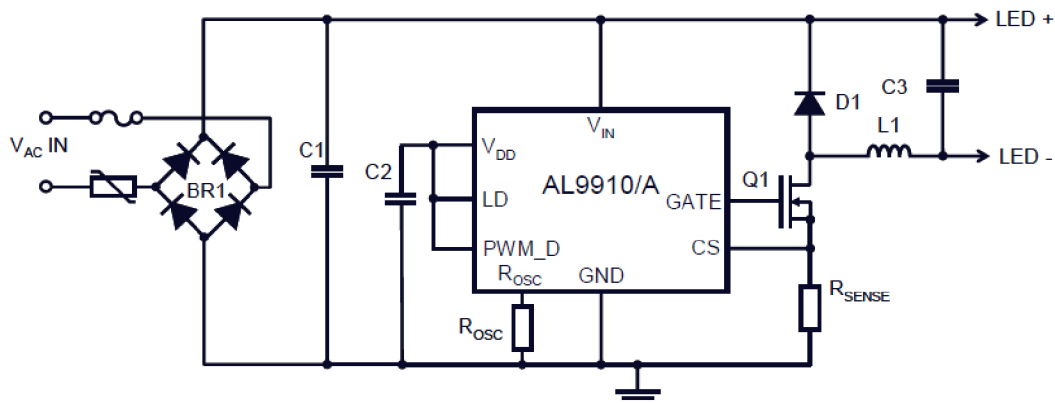
Integrovaný obvod AL9910A je vysokonapěťový LED driver. Nabízí efektivní řešení pro řízení vysokosvítivých LED diod pomocí síťového napětí v rozsahu 85V~ až 277~. Pro naši aplikaci je tedy velmi vhodný. Tento integrovaný obvod je schopen ovládat spínací MOSFET až na kmitočtu 300kHz. Hodnotu výstupního proudu je možno ovlivnit pomocí hodnoty jednoho rezistoru v obvodu. Blokové schéma integrovaného obvodu je na Obrázek 4.8.



Obrázek 4.8: Blokové schéma AL9910A [5]

Na vstup V_{IN} je přivedeno vyfiltrované síťové napětí, tedy asi 324VDC. Pomocí bloku LDO (Low Drop Out regulator) je přivedené napětí sníženo na hodnotu 10V. Toto napětí slouží pro napájení vnitřních obvodů a pinu GATE – tedy pro spínání FET tranzistoru. Na výstupu bloku LDO je tzv. UVLO (Undervoltage-lockout), který při nedostatečném napětí na vstupu V_{IN} , nebo jeho prudkém poklesu, odpojí zbytek zařízení od napájení a ochrání ho tak před poškozením. Svorkou R_{OSC} lze měnit spínací frekvenci měniče, a to pomocí velikosti odporu rezistoru, který je zařazen právě mezi pin R_{OSC} a zemní svorku GND. Mezi pin CS (current sense) a zemní vodič je zařazen odpor R_{SENSE} , pomocí něž se snímá úbytek napětí, který je vyvolán procházejícím proudem. Tento úbytek napětí je potom komparován s hodnotou napětí na vstupu LD (linear dimming) a vnitřní referenční hodnotou 250mV. V případě, že je úbytek napětí větší než zmiňovaných 250mV, nebo než velikost napětí na pinu LD, je na jednom ze vstupů hradla OR logická 1, což má za následek přerušování spínání. Blok OTP je teplotní ochrana, která chrání obvod před zničením. Teplota, při které se OTP aktivuje, je 85°C.

Typické zapojení obvodu AL9910A jako snižující měnič je na Obrázek 4.9.



Obrázek 4.9: Schéma zapojení AL9910A jako snižujícího měniče [5]

Změnou napětí na pinu LD je možno ovlivnit komparační úroveň, která ve finálním důsledku ovlivňuje jas diod. Je možné ho ovlivnit změnou vstupního napětí na pin LD v rozmezí od 0V do 300mV, kdy při napětí 0V je výstupní proud nulový, a při napětí 300mV a více (max. 10,3V) je výstupní proud maximální.

V Tabulka 4 je uvedeno srovnání zmíněných integrovaných obvodů.

Tabulka 4: Srovnání základních parametrů integrovaných obvodů

Parametry	Obvod		
	HV9922	LYT0006P	AL9910
Rozsah vstupního napětí [V~]	85 až 265	85 až 308	85 až 277
Integrovaný MOSFET	ANO	ANO	NE
Maximální výstupní proud [mA]	50	280	-
Spínací frekvence [kHz]	95	66	až 300
Možnost stmívání	NE	NE	ANO (LD, PWM)
Teplotní ochrana	NE	ANO (max. 142°C)	ANO (max. 85°C)

Na základě výše uvedených parametrů, byl k realizaci měniče vybrán obvod AL9910 od firmy Diodes Incorporated. Důvodem je především možnost volby spínacího kmitočtu, přítomnost tepelné ochrany obvodu a nezávislost maximální velikosti výstupního proudu na integrovaném obvodu.

4.3.2 Návrh obvodových prvků měniče

Velikost vyhlazovacího kondenzátoru C je dána vztahem (8) převzatým z [5]:

$$C_{IN} = \frac{I_{LED} \cdot U_{LED} \cdot 0,06}{U_{IN}^2} [F] \quad (8)$$

$$C_{IN} = \frac{0,15 \cdot 51,2 \cdot 0,06}{324^2} = 4,39\mu F = 4,7\mu F$$

Hodnota R_{OSC} , tedy odporu, který nastavuje spínací frekvenci měniče, se vypočítá dle rovnice (9).

$$t_{osc} = \frac{R_{osc}(k\Omega) + 25}{22} [\mu s] \quad (9)$$

Měnič by měl spínat na pracovním kmitočtu 250kHz. Pomocí vzorce (10) určíme periodu spínání.

$$t_{osc} = \frac{1}{f_{osc}} = \frac{1}{250 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-6} s = 4\mu s \quad (10)$$

Pomocí vyjádření R_{OSC} z (9) dostaneme:

$$R_{OSC} = 25 * 4(\mu s) - 22 [k\Omega] \quad (11)$$

$$R_{OSC} = 25 * 4 - 22 = 78k\Omega$$

Hodnota R_{OSC} byla zvolena $82k\Omega$ z řady E12. Protože není jiná bližší hodnota rezistoru k dispozici, bude spínací frekvence dle (9), a z ní odvozených, rovna:

Hodnota snímacího odporu R_{SENSE} se vypočítá podle (12) .

$$R_{SENSE} = \frac{0,25}{I_{LED} + (0,5 \cdot (I_{LED} \cdot 0,3))} [\Omega] \quad (12)$$

Kde I_{LED} je proud procházející zátěží, tedy zvolených $150mA$. Po dosazení do (12) dostaneme:

$$R_{SENSE} = \frac{0,25}{0,15 + (0,5 \cdot (0,15 \cdot 0,3))} = 1,44 \Omega$$

Bude nutné použít rezistor o odporu 2Ω z odporové řady E12. Při velikosti snímacího odporu $R_{SENSE}=2 \Omega$ bude výstupní proud měniče $110 mA$. Diody tak nebudou zatěžovány na maximum, což se kladně projeví na jejich životnosti.

Ztrátový výkon na rezistoru R_{SENSE} je roven:

$$P_Z = I^2 \cdot R_{SENSE} \quad (13)$$

$$P_Z = 0,110^2 \cdot 2 = 24,2mW$$

Vzhledem k tomu, že ztrátový výkon na rezistoru R_{SENSE} je zanedbatelný, lze použít klasický uhlíkový rezistor o daném odporu.

4.3.3 Spínací prvek – MOSFET tranzistor

Spínací MOSFET tranzistor je společně s řídicím obvodem „srdcem“ celého měniče. Spínací tranzistor by měl splňovat následující požadavky:

- Maximální proud kolektorem (drainem) alespoň $150mA$
- Maximální napětí U_{DS} alespoň $324V$
- Maximální napětí U_{GS} alespoň $10V$
- Doba zpoždění musí být o několik řádů menší, než spínací perioda (řádově nanosekundy)
- Minimální odpor R_{DS} (drain – source)

V navrhovaném měniči je použit N-kanálový MOSFET tranzistor IRFBC20 od firmy Vishay, který výše uvedené požadavky beze zbytku splňuje. Jeho parametry jsou uvedeny v Tabulka 5.

Tabulka 5: Vlastnosti spínacího tranzistoru IRFBC20 [6]

Veličina	Max. hodnota	Jednotka
$I_{D\text{MAX}}$	2,2	A
$U_{D\text{SMAX}}$	600	V
$U_{G\text{SMAX}}$	± 20	V
Pracovní teplota	-55 až 150	$^{\circ}\text{C}$
Doba zpoždění	30	ns
Ztrátový výkon	50	W
Pouzdro	TO220	-
$R_{D\text{S}}$	4,4	Ω

4.4 Akumulační prvek – výkonová cívka

Předpokládejme, že napájený LED řetězec bude složen z 16 ks vysocesvítivých LED diod LED2835 WHITE 16000/120 $^{\circ}$, úbytek napětí na jedné diodě je 3,2V, celkové výstupní napětí měniče bude tedy $V_{LED} = 51,2\text{V}$. Minimální jmenovitý proud cívky je 150mA.

Střídu spínání vypočítáme podle vztahu (14),

$$D = \frac{V_{LED}}{V_{IN}} [-] \quad (14)$$

kde V_{LED} je celkový úbytek napětí na LED řetězci, tedy 51,2V, a V_{IN} je vstupní napětí, tedy $1,41 \cdot 230\text{V} = 324\text{V}$. Velikost střídy tedy bude:

$$D = \frac{51,2}{324} = 0,160$$

Čas t_{on} , tedy délka sepnutí tranzistoru, se vypočítá podle vztahu (15).

$$t_{on} = \frac{D}{f_{osc}} [s] \quad (15)$$

$$t_{on} = \frac{0,160}{250000} = 640 \text{ ns}$$

Velikost indukčnosti tlumivky je dána vztahem (16).

$$L \geq \frac{(V_{IN} - V_{LED}) \cdot t_{on}}{0,3 \cdot I_{LED}} [mH] \quad (16)$$

$$L \geq \frac{(324 - 51,2) \cdot 640 \cdot 10^{-9}}{0,3 \cdot 0,15} = 4,66mH$$

Daným hodnotám odpovídá cívka COILCRAFT RFC1010B-475KE. Její parametry jsou uvedeny v Tabulka 6.

Tabulka 6: Parametry výkonové cívky [7]

Indukčnost	4,7mH
Jmenovitý proud	400mA
Rezonanční kmitočet	640 kHz
Pouzdro	Radiální
Průměr	11mm
Rozteč	5mm

4.5 Hlavní usměrňovací dioda

Dioda musí být dimenzována minimálně na střední hodnotu výstupního proudu. Při daném výstupním proudu 150 mA je střední hodnota napětí dána vztahem (7):

$$I_{Dstř} = I_2 \cdot (1 - s) = 150 \cdot (1 - 0,160) = 126mA$$

Závěrné napětí diody D_1 by mělo být vyšší než usměrňené síťové napětí, tedy 324V. U tohoto prvku je také důležitá doba zotavení, která by měla být kratší než perioda spínání. Je vhodné použít diodu typu Schottky, jelikož obecně mívají kratší dobu zotavení a menší úbytek napětí. Uvedeným předpokladům vyhovuje dioda SF38 od firmy Multicomp. Její parametry jsou uvedeny v Tabulka 7.

Tabulka 7: Parametry hlavní usměrňovací diody [8]

Max. závěrné napětí	600V
Jmenovitý proud	3A
Jednorázový špičkový proud	50A
Úbytek napětí	1,3V
Doba zotavení	35ns

4.6 Výstupní kondenzátor

Výstupní kondenzátor by měl mít co nejmenší ESR (ekvivalentní sériový odpor), který negativně ovlivňuje celkovou účinnost měniče. Velikost výstupního vyhlazovacího kondenzátoru C_{OUT} :

$$C_{OUT} = \frac{\Delta I_L \cdot T}{8 \cdot \Delta U_{2MAX}} \quad (17)$$

$$C_{OUT} = \frac{0,045 \cdot \frac{1}{250000}}{8 \cdot 0,5} = 54,6nF$$

Minimální kapacita výstupního kondenzátoru je tedy asi 55nF, tomu z řady odpovídá hodnota 68nF. Vhodný se pro tuto aplikaci jeví fóliový kondenzátor MKS68n/1kV. Jeho jmenovité napětí je 1000V, což je zcela dostačující.

5 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ A MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ

5.1 Konstrukce zařízení

Jelikož nemá zařízení připojení k zemnicímu kolíku rozvodné sítě, je konstruováno jako elektrické zařízení s třídou ochrany II, tzn. s dvojitou nebo zesílenou izolací. Aby byla izolace považována za zesílenou, musí odpovídat alespoň stupni krytí IP2X, což znamená, že izolace musí zamezit nebezpečnému dotyku prstů, nebo vniknutí malých předmětů. Izolační materiál samozřejmě musí být z nevodivého materiálu. Výstupní napětí není galvanicky oddělené od země, protože na jeho výstupu je napětí asi 50VDC, což odpovídá „malému napětí“ (ELV – extra low voltage). Toto napětí je tak malé, že při průchodu lidským tělem nemůže proud nabýt nebezpečné velikosti. Stejnoseměrné napětí nemá na zdraví člověka tak negativní účinky, jako střídavé, nicméně při dlouhodobějším působení se může začít rozkládat krev.

Zařízení bude uloženo v plastové krabičce KPZ5, která je na Obrázek 5.1.

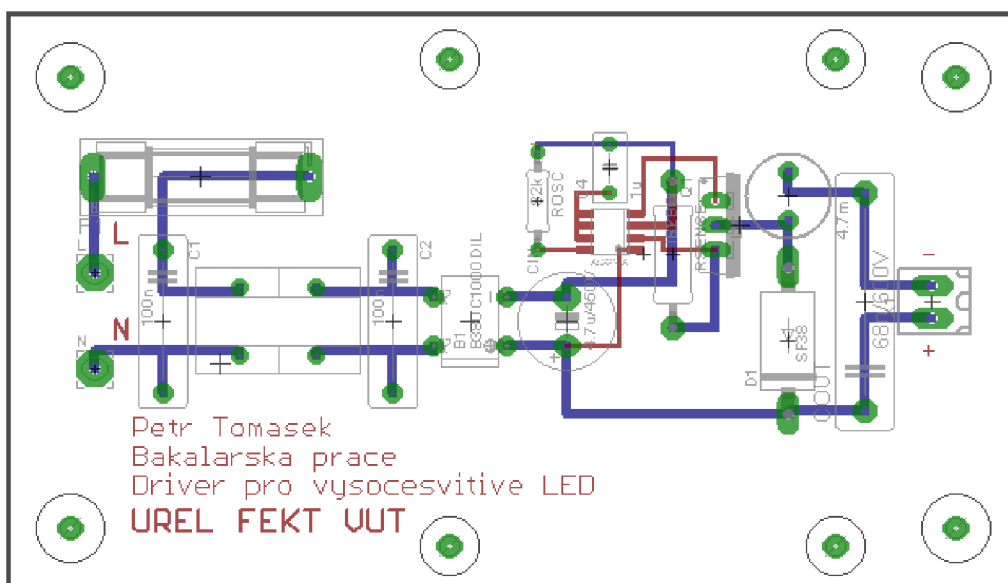


Obrázek 5.1: Konstruktivní box KPZ5

Uvnitř konstrukčního boxu je deska plošných spojů uchycena pomocí čtyř vrutů. Síťové napětí je přivedeno pomocí flexo kabelu o délce 2m. Na vhodném místě

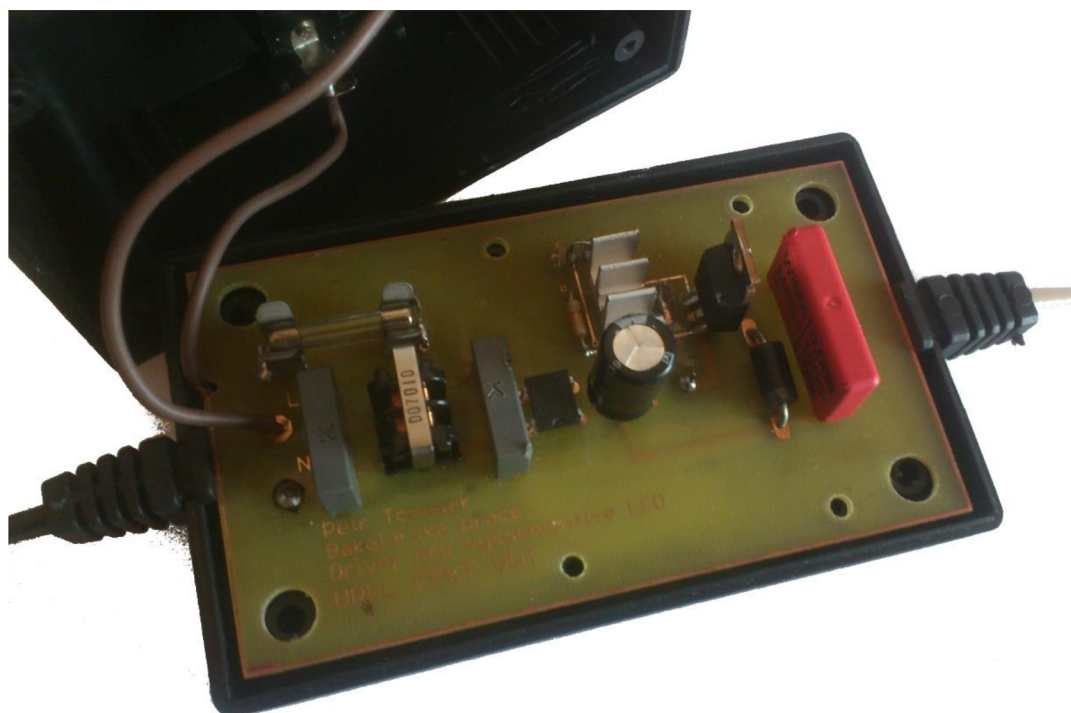
konstrukčního boxu bude umístěn vypínač, pomocí něž se bude celé zařízení ovládat. Testovací LED řetězec bude umístěn na čtveřici gumových podložek.

Deska plošného spoje měniče je na Obrázek 5.2.



Obrázek 5.2: Návrh DPS spínaného měniče

Na Obrázek 5.3 je fotografie osazení DPS, s odklopeným víčkem konstrukčního boxu.

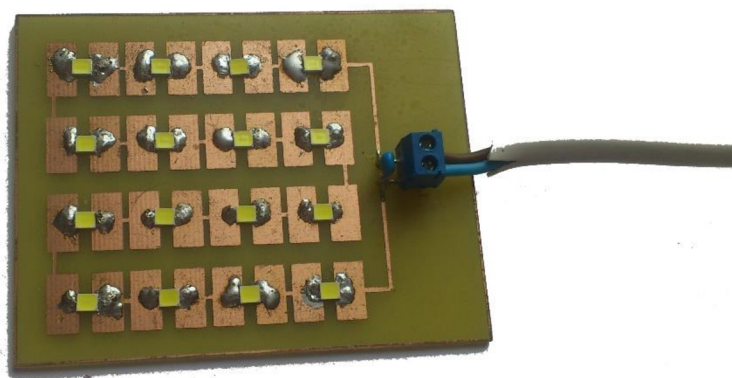


Obrázek 5.3: Osazení DPS

Na Obrázek 5.4, Obrázek 5.5 jsou fotografie zdroje a řetězce LED diod.



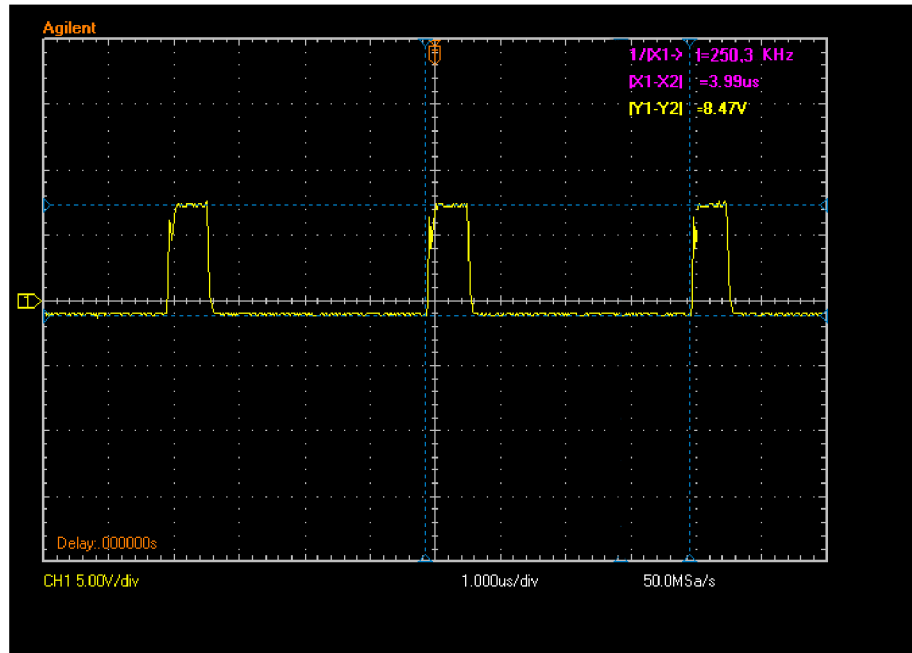
Obrázek 5.4: Finální podoba spínaného zdroje



Obrázek 5.5: Testovací LED řetězec

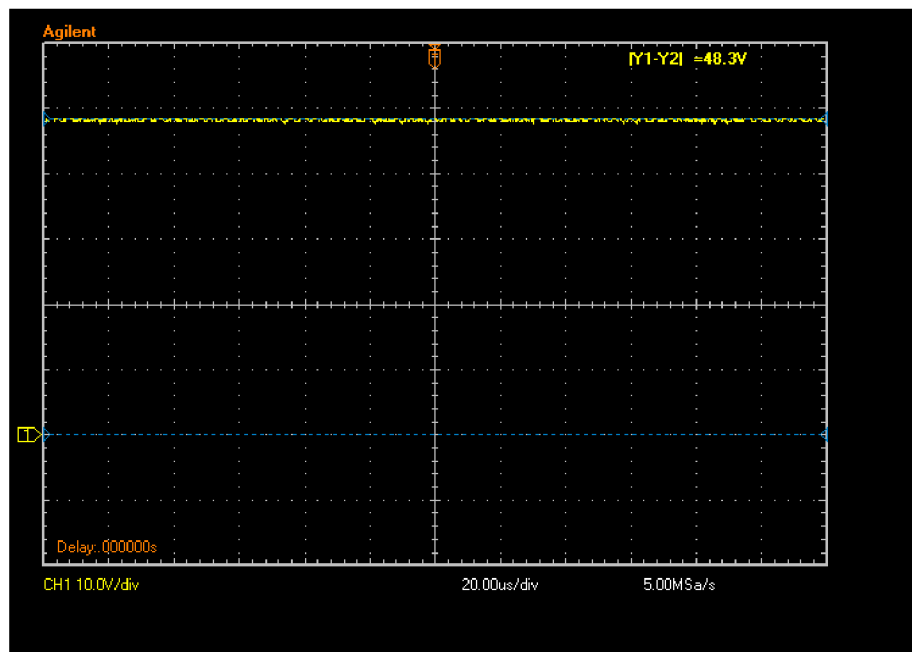
5.2 Měření základních parametrů měniče

Měnič byl navržen na pracovní kmitočet 250kHz. Na Obrázek 5.6, snímku z osciloskopu, lze vidět spínací impulzy, které spínají tranzistor.



Obrázek 5.6: Průběh napětí U_{g-s}

Jak je z oscilogramu patrné, tranzistor je opravdu spínán na frekvenci 250kHz, impulsy mají velikost napětí asi 8,5V. Na Obrázek 5.7 je znázorněn průběh výstupního napětí měniče.



Obrázek 5.7: Průběh výstupního napětí

Z oscilogramu je patrné, že výstupní napětí nevykazuje žádné zvlnění. V Tabulka 8 jsou zaznamenány hodnoty naměřené při testování přístroje.

Tabulka 8: Naměřené hodnoty

Vstupní napětí	230 V \sim
Vstupní proud	30 mA
Výstupní napětí	49,9 V $=$
Výstupní proud	104 mA
Úbytek napětí na diodě	3,1 V

Z těchto údajů je patrné, že příkon zdroje je:

$$P_o = U_{IN} \cdot I_{OUT} [W] \quad (18)$$

$$P_o = 230 \cdot 0,030 = 6,9 W$$

Výstupní výkon se určí podle (19):

$$P = U_{OUT} \cdot I_{OUT} [W] \quad (19)$$

$$P = 49,9 \cdot 0,104 = 5,2 W$$

Podle (20) se určí účinnost zdroje.

$$\eta = \frac{P}{P_o} \cdot 100 [\%] \quad (20)$$

$$\eta = \frac{5,2}{6,9} \cdot 100 = 75 \%$$

Účinnost zdroje je až o 10%, než uvádí tabulkové hodnoty [5]. Toto může být způsobeno ztrátami v EMI filtru. Nicméně u spínaných zdrojů se za nejdůležitější obvodové prvky ohledně účinnosti považují spínací tranzistor a výstupní kondenzátor. Tranzistor musí mít co nejmenší odpor v sepnutém stavu a kondenzátor musí mít pokud možno co nejmenší ekvivalentní sériový odpor. Tyto aspekty zřejmě ovlivnily výslednou účinnost zdroje.

6 ZÁVĚR

V práci byly rozebrány základní vlastnosti LED diod a jejich napájení. V úvodní kapitole je popsán princip funkce LED diod a vlastnosti vyzařovaného světla. Byl navržen obvod a deska plošných spojů LED řetězce, který je určen pro testování navrženého zdroje. V teoretické části jsem se zabýval napájecím zařízením obecně. Zvýšenou pozornost jsem

věnoval spínaným zdrojům, především pak snižujícím měničům. Na základě parametrů několika řídicích integrovaných obvodů jsem vybral, dle mého názoru, pro tuto aplikaci obvod AL9910. V analytické části jsou navrženy jednotlivé obvodové prvky přístroje.

Konstrukční část se zabývá uložením přístroje v konstrukčním boxu a také jeho bezpečnostními nároky. Vzhledem k tomu, že se pracuje se síťovým napětím a na výstupu je galvanicky neoddělené napětí, bylo nutné se tímto zabývat. Návrhy desek plošných spojů jsem záměrně udělal poněkud větší, než by bylo možno, především kvůli nedostatku zkušeností s SMD součástkami a kvůli snadnější montáži a i „názornosti“ obvodu na DPS.

Zkonstruovaný měnič pracuje tak, jak byl navržen. Účinnost však dosahuje pouze 75%, což je u těchto typů zdrojů málo. Může to být způsobeno např. vyšším odporem v přechodu drain-source u spínacího tranzistoru, nebo vyšším ESR u výstupního filtračního kondenzátoru.

Při měření parametrů docházelo k vypínání obvodu. Bylo zjištěno, že je to způsobeno teplotní ochranou integrovaného obvodu, proto na něj byl umístěn hliníkový pasivní chladič, který zajišťuje odvod tepla a tím pádem i bezproblémovou funkci zařízení.

Prostor pro další inovaci zařízení vidím především v implementování funkce stmívání, manuálním i automatickým. Manuální stmívání by ovládal uživatel, automatické by pak reagovalo, pomocí optických prvků, na okolní světelné podmínky.

Napájení LED a jeho vývoj je bezesporu velice atraktivní oblastí. Vzhledem k budoucím nedostatkům fosilních paliv, a tím pádem i elektrické energie, je nutné touto energií šetřit a provozovat pouze zařízení, která mají co možná nejvyšší účinnost. LED diody a spínané diody, patří svojí účinností ke špičce, a je potřeba toho využít a neplýtvat elektrickou energií.

LITERATURA

- [1] KUBÍČEK, M., Přednáška BNEZ č. 1 [online]. Dostupné na <https://www.vutbr.cz/elearning/course/view.php?id=148725>
- [2] Wikipedia [online]. Dostupné na http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ide%C3%A1ln%C3%AD_a_re%C3%A1ln%C3%BD_zdroj.pdf
- [3] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA M., *Napájení elektrických zařízení*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 1997.
- [4] KUBÍČEK, M., Přednáška BNEZ č. 5 [online]. Dostupné na <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=292826>
- [5] Datasheet AL9910A [online]. Dostupné na http://www.diodes.com/datasheets/AL9910_A.pdf
- [6] Datasheet Vishay IRFBC20 [online]. Dostupné na: <http://www.vishay.com/docs/91106/91106.pdf>
- [7] Datasheet Coilcraft RFC1010B [online]. Dostupné na: <http://www.farnell.com/datasheets/1870422.pdf>
- [8] Datasheet Multicomp SF38 [online]. Dostupné na: <http://www.farnell.com/datasheets/1697469.pdf>
- [9] Pro elektrotechniky [online]. Dostupné na: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>
- [10] Wikipedia [online]. Dostupné na <http://cs.wikipedia.org/wiki/LED#/media/>
- [11] VOBECKÝ, J., ZÁHLAVA, V., *Elektronika*, Grada, 2001.
- [12] Datasheet LED 2835 WHITE GT-M28351W550-0 [online]. Dostupné na <http://www.gme.cz/img/cache/doc/960/410/led-smd-2835-white-16000-120-datasheet-1.pdf>
- [13] Sapho koupelny, Proč světelné LED zdroje? [online]. Dostupné na http://eshop.sapho.cz/www/prilohy/doplnkove_informace/Infostranky_CZ/ostatni/osvetleni_tree/led_barevne_spektrum.jpg
- [14] Datasheet Microchip HV9922 [online]. Dostupné na <http://www.farnell.com/datasheets/1849626.pdf>
- [15] Datasheet POWER INTEGRATIONS LYT0006P [online]. Dostupné na <http://www.farnell.com/datasheets/1910662.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

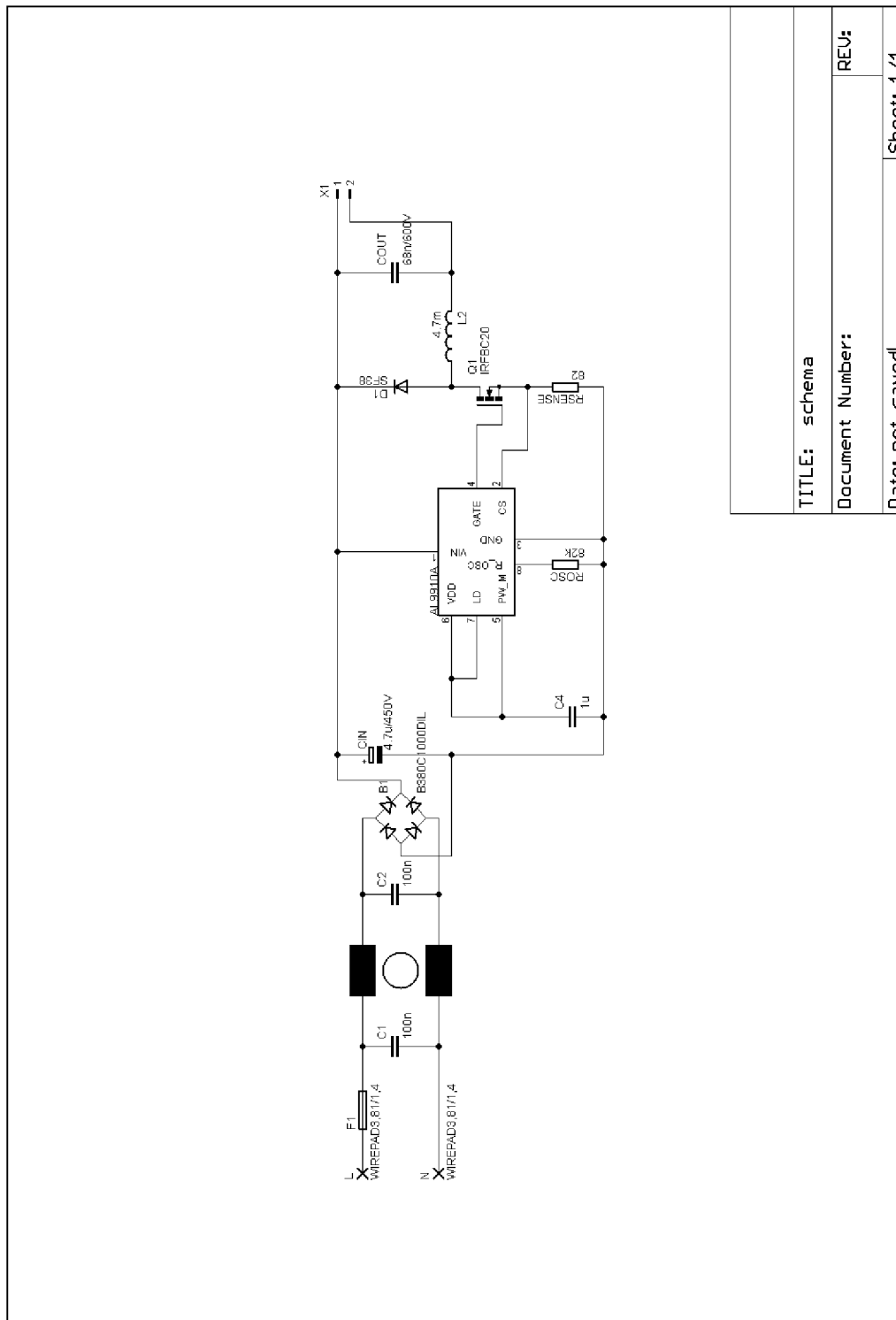
U_1	vstupní napětí
U_2	výstupní napětí
s, D	střída spínání (=duty cycle)
i_L	proud procházející cívkou
u_L	napětí na cívce
L	velikost indukčnosti
f_{osc}	spínací frekvence měniče
T	spínací perioda měniče
ΔU_{2MAX}	maximální zvlňnění napětí na výstupu
i_{cmax}	maximální proud kolektorem spínacího tranzistoru
I_2	výstupní proud
I_D	proud diodou
C_{min}	minimální velikost kapacity vstupního kondenzátoru
U_{LED}	výstupní napětí pro LED řetězec
I_{LED}	výstupní proud
U_{IN}	vstupní napětí
t_{osc}	perioda spínání měniče
R_{osc}	velikost nastavovacího odporu
R_{sense}	velikost snímacího odporu
t_{on}	doba sepnutí tranzistoru
C_{OUT}	výstupní tranzistor
ESR	ekvivalentní sériový odpor

SEZNAM PŘÍLOH

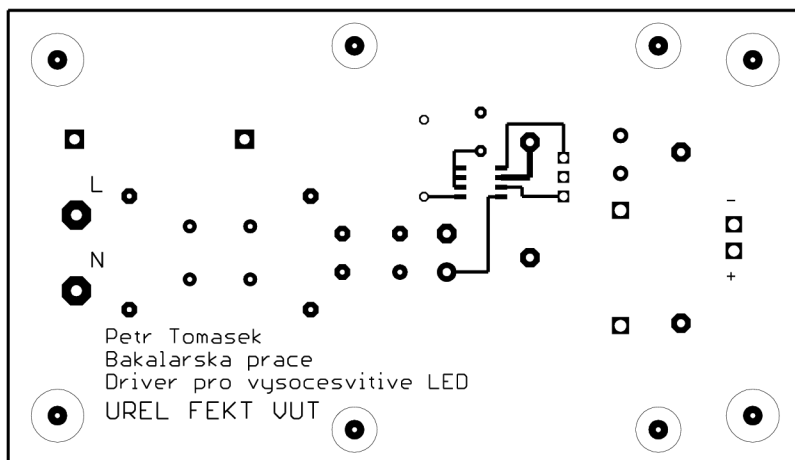
A	Návrh zařízení	46
A.1	Obvodové zapojení	46
A.2	Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	47
A.3	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	47
A.4	Osazovací plán	48
B	Seznam součástek	49
C	Elektronická verze	50

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení

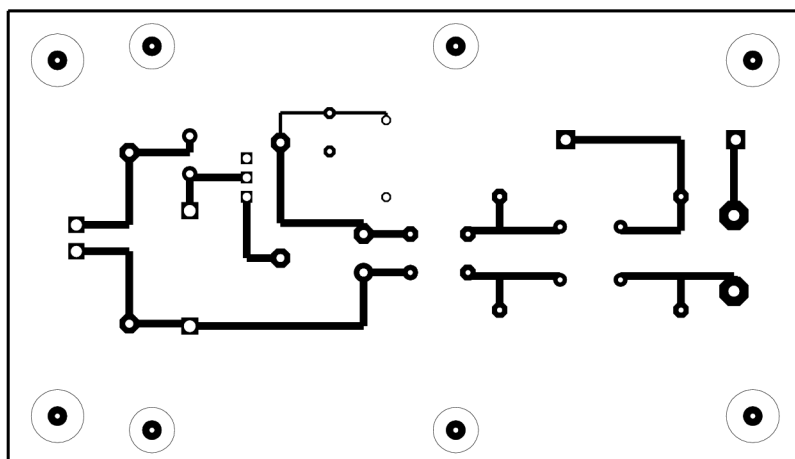


A.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



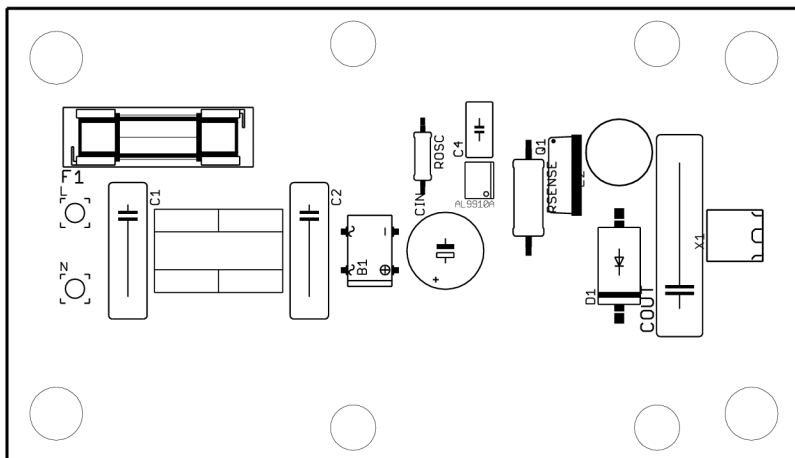
Rozměr desky 105 x 60 [mm], měřítko M1:1

A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 105 x 60 [mm], měřítko M1:1

A.4 Osazovací plán



B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
B1	-	KBL	Usměrňovací můstek
C1	100nC	C025-025X050	Fóliový kondenzátor
C2	100nC	C025-025X050	Fóliový kondenzátor
C _{IN}	4,7 μ /450V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
C3	1 μ C	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C _{OUT}	68n/1000V	C050-055X75	Fóliový kondenzátor
D1	SF38	DO201AD	Dioda
X1	-		Výstupní svorkovnice
L	-	-	Vstup pro L vodič
L1	2x10mH	Rozteč 7x8mm	Odrušovací tlumivka
L2	4,7mH	Radiální, 11x11,5mm, rozteč 5mm	Výstupní cívka
N	-	-	Vstup pro N vodič
Q1	IRFBC20	TO251	Spínací tranzistor
R _{OSC}	82k Ω	0207/10	Rezistor
R _{SENSE}	2 Ω	RS02M	Rezistor
AL9910A	AL9910A	SO-8	Řídící integrovaný obvod
F1	125mA	5x20mm	Pojistka

C ELEKTRONICKÁ VERZE PRÁCE