

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

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 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Petr Tomášek

ID: 154896

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

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] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje 1 až 4. BEN, Praha 1996-1999.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

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

Konzultant bakalářské práce: Ing. Josef Vochoján, 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 jsou rozebrány typy napájecích zdrojů, především pak zdroje spínané, snižující. V další kapitole jsou shrnuty nároky spínaných zdrojů na problematiku bezpečnosti a elektromagnetické kompatibility. Ve třetí části se nacházejí informace o problematice LED. Části IV. a V. se věnují návrhu spínaného zdroje, jeho realizaci a měření základních parametrů.

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 electric distribution network 230V/50Hz. In the first chapter you can find short thesis about electric power supplies. Second chapter contains info about power supplies and their safety and EMC requirements. In the third chapter is analysis of LED. Chapter IV. is dedicated to LED power supply circuit desing and the last chapter is about construction and measuring of parametres of designed power supply.

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. 48 s., 6 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D. Konzultant 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 mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Michalu Kubičkoví, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při zpracování této práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	vi
Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam rovnic	ix
Úvod	10
1 Úvod do síťových napájecích zdrojů	11
1.1 Lineární síťové zdroje.....	11
1.2 Spínané zdroje.....	11
1.3 Rozdělení spínaných zdrojů.....	12
1.4 Spínané zdroje bez transformátoru	12
1.4.1 Invertující měnič (BUCK-BOOST).....	12
1.4.2 Zvyšující měnič (BOOST).....	13
1.4.3 Snižující měnič (BUCK).....	13
2 Bezpečnostní hlediska zařízení a EMC	16
2.1 Ochranná opatření před úrazem elektrickým proudem.....	16
2.2 Třídy ochrany EZ.....	16
2.3 Elektromagnetická kompatibilita.....	17
2.3.1 EMC a spínané zdroje.....	17
3 Elektroluminiscenční diody	19
3.1 Základní informace	19
3.2 Princip funkce a vlastnosti LED	20
3.3 Řízení LED	22
4 Návrh zařízení	24
4.1 Blokové schéma zdroje	24
4.2 Vstupní obvody.....	24
4.2.1 Pojistka a varistor.....	25
4.2.2 Širokopásmový filtr	25

4.2.3	Usměrňovač	25
4.3	Řídící elektronika a spínací prvky	25
4.3.1	Řídící integrovaný obvod.....	26
4.3.2	Návrh obvodových prvků měniče.....	30
4.3.3	Spínací prvek – MOSFET tranzistor	31
4.4	Akumulační prvek – výkonová cívka	31
4.5	Hlavní usměrňovací dioda	33
4.6	Výstupní kondenzátor	33
4.7	LED.....	33
4.8	Řízení jasu LED	35
5	Konstrukce zařízení a měření základních parametrů	38
5.1	Konstrukce zařízení	38
5.2	Sestavení a oživení zdroje.....	40
5.3	Měření základních parametrů měniče.....	40
6	Závěr	45
	Literatura	46
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	47
A	Návrh zařízení	48
A.1	Obvodové zapojení	48
A.2	Deska plošného spoje – zdroj (bottom)	49
A.3	Deska plošného spoje – zdroj (top).....	49
A.4	Deska plošného spoje – desky vstupních obvodů a LED řetězce.....	50
A.5	Osazovací plány	50
B	Seznam součástek	51
C	Kód programu	52
D	Elektronická verze práce	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1.1: BLOKOVÉ SCHÉMA LINEÁRNÍHO ZDROJE [1]	11
OBR. 1.2: BLOKOVÉ SCHÉMA SPÍNANÉHO ZDROJE	12
OBR. 1.3: SCHÉMA INVERTUJÍCÍHO ZDROJE	13
OBR. 1.4: SCHÉMA ZVYŠUJÍCÍHO ZDROJE	13
OBR. 1.5: SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ.....	14
OBR. 1.6: SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ - SEPNUTÝ SPÍNAČ.....	14
OBR. 1.7: SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ - VYPNUTÝ SPÍNAČ.....	14
OBR. 2.1: TŘÍDY OCHRAN EZ [3].....	17
OBR. 2.2: PROUDOVÉ SMYČKY VE SPÍNANÉM ZDROJI	18
OBR. 3.1: P-N PŘECHOD V PROPUSTNÉM SMĚRU[6]	20
OBR. 3.2: PRINCIP ELEKTROLUMINISCENCE [11].....	21
OBR. 3.3: KONSTRUKCE BÍLÉ LED.....	21
OBR. 3.4: PWM SIGNÁL A JEHO VARIANTY.....	23
OBR. 4.1: BLOKOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉHO ZDROJE	24
OBR. 4.2: SCHÉMA VSTUPNÍCH OBVODŮ	25
OBR. 4.3: INTEGROVANÝ OBVOD MICROCHIP HV9922 [8].....	26
OBR. 4.4: TYPICKÉ ZAPOJENÍ OBVODU S HV9922 [8]	26
OBR. 4.5: INTEGROVANÝ OBVOD POWER INTEGRATIONS LYT0006P [9]	27
OBR. 4.6: TYPICKÉ ZAPOJENÍ LYT0006P [9]	27
OBR. 4.7: BLOKOVÉ SCHÉMA AL9910A [10].....	28
OBR. 4.8: SCHÉMA ZAPOJENÍ AL9910A JAKO SNIŽUJÍCÍHO MĚNIČE [10]	29
OBR. 4.9: N-KANÁLOVÝ MOSFET TRANZISTOR IPD50R380CE[11]	31
OBR. 4.10: SPEKTRUM ZÁŘENÍ LED GT-M28351W550-0 [5]	34
OBR. 4.11: ZÁVISLOST RELATIVNÍHO SVĚTELNÉHO TOKU DIOD NA PROUDU [5]	35
OBR. 4.12: SCHÉMA ZAPOJENÍ KAPACITNÍHO SNÍMAČE	36
OBR. 4.13: VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU	36
OBR. 4.14: SCHÉMA ZAPOJENÍ ATTINY10.....	37
OBR. 5.1: VZHLED VÝSLEDNÉHO VÝROBKU.....	38
OBR. 5.2: OSAZENÍ DPS.....	39
OBR. 5.3: VSTUPNÍ OBVOD	39
OBR. 5.4: SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘI MĚŘENÍ.....	40
OBR. 5.5: PRŮBĚH NAPĚTÍ UD-S PŘI VSTUPNÍM NAPĚTÍ 207V	41
OBR. 5.6: PRŮBĚH NAPĚTÍ UD-S PŘI VSTUPNÍM NAPĚTÍ 254V	41
OBR. 5.7: GRAF IOUT(UIN).....	42
OBR. 5.8: GRAF H(UIN).....	43

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: RELATIVNÍ MEZE HARMONICKÝCH SLOŽEK SVÍTIDEL TŘÍDY C [12]	18
TABULKA 2: SROVNÁNÍ PARAMETRŮ KLASICKÉ ŽÁROVKY A LED DIODY	20
TABULKA 3: PŘEHLED VLASTNOSTÍ LED	22
TABULKA 4: ZÁKLADNÍ PARAMETRY INTEGROVANÝCH OBVODŮ	28
TABULKA 5: VLASTNOSTI SPÍNACÍHO TRANZISTORU IPD50R380CE	31
TABULKA 6: PARAMETRY VÝKONOVÉ CÍVKY	32
TABULKA 7: PARAMETRY HLAVNÍ USMĚRŇOVACÍ DIODY	33
TABULKA 8: VLASTNOSTI LED GT-M28351W550-0.....	35
TABULKA 9: NAMĚŘENÉ HODNOTY	42
TABULKA 10: SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ SPÍNANÝCH LED BUDIČŮ	44

SEZNAM ROVNIC

(1) VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ SNIŽUJÍCÍHO ZDROJE	15
(2) OKAMŽITÁ HODNOTA PROUDU CÍVKOU SNIŽUJÍCÍHO ZDROJE.....	15
(3) ZVLNĚNÍ VÝSTUPNÍHO PROUDU SNIŽUJÍCÍHO ZDROJE	15
(4) VELIKOST VYHLAZOVACÍHO KONDENZÁTORU	15
(5) PROUD DRAINEM TRANZISTORU.....	15
(6) PROUD DIODOU	15
(7) PERIODA SPÍNÁNÍ.....	30
(8) KMITOČET SPÍNÁNÍ	30
(9) VELIKOST R_{SENSE}	30
(10) ZTRÁTOVÝ VÝKON NA R_{SENSE}	30
(11) STŘÍDA SPÍNÁNÍ	32
(12) DÉLKA SEPnutí.....	32
(13) VELIKOST INDUKČNOSTI VÝKONOVÉ CÍVKY	32
(14) PROUD DIODOU	33
(15) VELIKOST KAPACITY VÝSTUPNÍHO KONDENZÁTORU	33
(16) NAPĚTÍ NA LED ŘETĚZCI	34
(17) VÝPOČET VÝKONU	43
(18) VÝPOČET PŘÍKONU	43
(19) VÝPOČET ÚČINNOSTI.....	43

ÚVOD

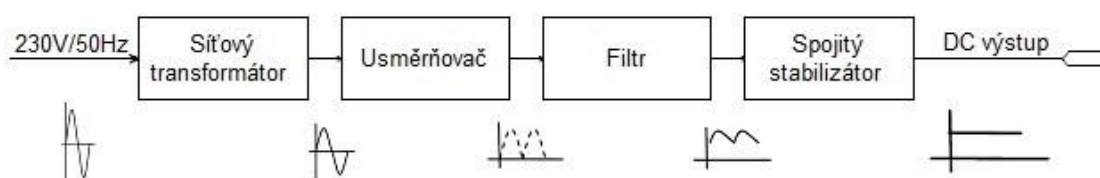
Každý z nás se v každodenním životě setkává s elektrickými zařízeními. Doslova nejsme schopni si bez nich život představit. To s sebou přináší nutnost tato zařízení nějak napájet. V současnosti rozlišujeme dva stěžejní typy zdrojů pro malovýkonová zařízení. Jsou to zdroje lineární a zdroje spínané. Lineární zdroje jsou konstrukčně jednodušší, nicméně jejich vlastnosti (především účinnost a rozměry) jsou v porovnání se zdroji spínanými horší. Zdroje spínané tyto nedostatky eliminují, avšak za cenu složitější konstrukce a vysokofrekvenčního rušení, jehož bývají zdrojem. Spínané zdroje se v dnešní době používají prakticky ve všech odvětvích elektrotechniky, osvětlovací techniku nevyjímaje. Jejich vlastnosti jsou vhodné pro buzení světelných diod. V práci jsou naznačeny principy funkce spínaných zdrojů a jejich požadavků na EMC, jelikož pracují na vysokých kmitočtech a jsou zdrojem rušení. Cílem této bakalářské práce je návrh a sestavení spínaného zdroje, který bude budit zvolený řetězec světelných diod. Celý výrobek pak bude umístěn do vhodných konstrukčních boxů, aby výsledný výrobek mohl sloužit jako stolní lampa.

1 ÚVOD DO SÍŤOVÝCH NAPÁJEJÍCH ZDROJŮ

V současné době se používají především dva základní druhy síťových zdrojů – zdroje lineární a zdroje spínané.

1.1 Lineární síťové zdroje

Lineární síťové zdroje pracují ve svém pracovním cyklu se spojitým signálem. To znamená, že je možné výstupní napětí zdroje regulovat spojitě. Blokové schéma je na Obr. 1.1.



Obr. 1.1: Blokové schéma lineárního zdroje [1]

Síťový transformátor upravuje hodnotu síťového napětí na takovou, která je požadována. Transformátor zároveň zajišťuje tzv. galvanické oddělení, tzn., že výstupní napětí zdroje není spojeno s rozvodnou sítí. Usměrňovač slouží k usměrnění napětí. Zde se zpravidla používá tzv. Grätzův můstek. Takto usměrněné napětí se pomocí filtru (kondenzátoru) vyfiltruje a výsledné napětí se pomocí lineárního stabilizátoru stabilizuje.

Lineární zdroje představují jednodušší variantu síťových napájecích zdrojů. Hlavní nevýhodou jsou však nižší účinnost ve srovnání se zdroji spínanými, větší rozměry a hmotnost zdrojů. Alternativou ke zdrojům lineárním jsou zdroje spínané, kterým se věnuje celá následující kapitola, jsou totiž stěžejní pro vyřešení zadání této bakalářské práce.

1.2 Spínané zdroje

V následující kapitole jsou shrnuty poznatky o problematice spínaných zdrojů, které jsou nezbytné pro řešení zadání bakalářské práce. Spínané zdroje jsou výhodnou alternativou ke zdrojům lineárním, především pro svoji vyšší účinnost, která je základním atributem každého zdroje. Samozřejmě mají i svoje nevýhody, které plynou z jejich konstrukčního řešení, a to větší náročnost na vlastnosti obvodových prvků a vyzařování vysokofrekvenčního rušení. Z toho pramení i vyšší cena těchto zdrojů. Zdroje pracují na vysokých frekvencích. Na Obr. 1.2 je patrné blokové schéma spínaného zdroje.



Obr. 1.2: Blokové schéma spínaného zdroje

Vstupní síťové napětí se ve vstupním obvodu upraví (usměrní a vyfiltruje). Řídící integrovaný obvod poté koordinuje činnost celého zdroje. Vyhodnocuje zpětnou vazbu a v závislosti na výstupním napětí upravuje střidu spínání zdroje. Akumulační prvek (cívka) slouží k uložení energie. Podrobný popis principů a funkce spínaných zdrojů bude rozebrán v dalších kapitolách.

1.3 Rozdělení spínaných zdrojů

Na spínané zdroje můžeme nahlížet z více hledisek:

Spínané zdroje bez transformátoru:

- Invertující (BUCK-BOOST)
- Snižující (STEP-DOWN)
- Zvyšující (STEP-UP)

Spínané zdroje s transformátorem:

- Blokující (FLYBACK)
- Propustný (FORWARD)

Dvojčinné měniče s transformátorem:

- Push – pull
- Polomost
- Plný most

V následujícím textu bude podrobně rozebrán princip a funkce zdrojů bez transformátoru.

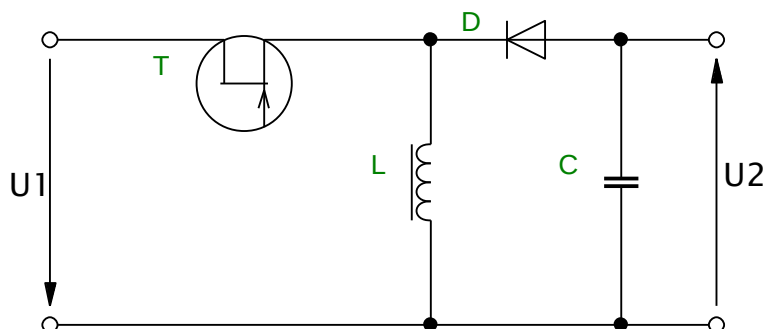
1.4 Spínané zdroje bez transformátoru

Spínané zdroje bez transformátoru mají přímou galvanickou vazbu mezi vstupem a výstupem. Tento druh spínaných zdrojů se hojně využívá právě pro aplikace komerčně dostupných LED. Velkou výhodou těchto zdrojů je především jejich velmi vysoká účinnost (až 90%).

1.4.1 Invertující měnič (BUCK-BOOST)

Tyto zdroje jsou používány pro změnu polarity vstupního napětí. Výstupní napětí může být menší i větší (v absolutní hodnotě), než napětí vstupní. Principiální schéma takového

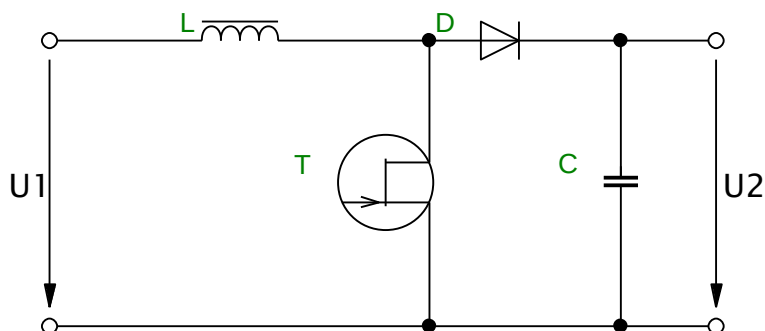
měníče je na Obr. 1.3. Energie je shromažďována v magnetickém poli cívky nebo elektrickém poli kondenzátoru.



Obr. 1.3: Schéma invertujícího zdroje

1.4.2 Zvyšující měnič (BOOST)

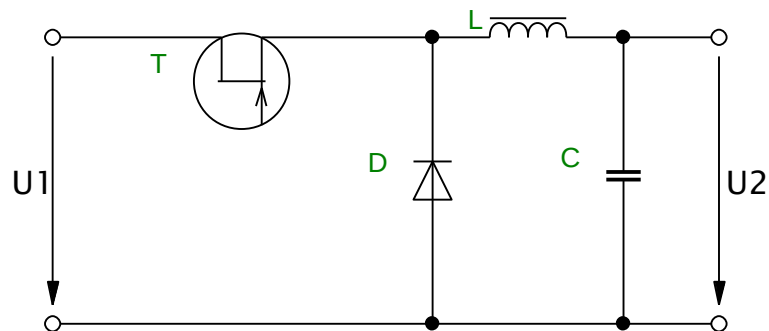
Zvyšující zdroje se používají pouze pro zvyšování vstupního napětí na vyšší napětí výstupní. Tyto zdroje mají časté použití jakožto zdroje zvyšující napětí z +5V (TTL logika) na +12V. Jejich základní výhodou je ta skutečnost, že mohou výstupní napětí několikanásobně zvětšit (až 10x) i bez použití transformátoru. Jednoduché schéma zvyšujícího zdroje je znázorněno na Obr. 1.4.



Obr. 1.4: Schéma zvyšujícího zdroje

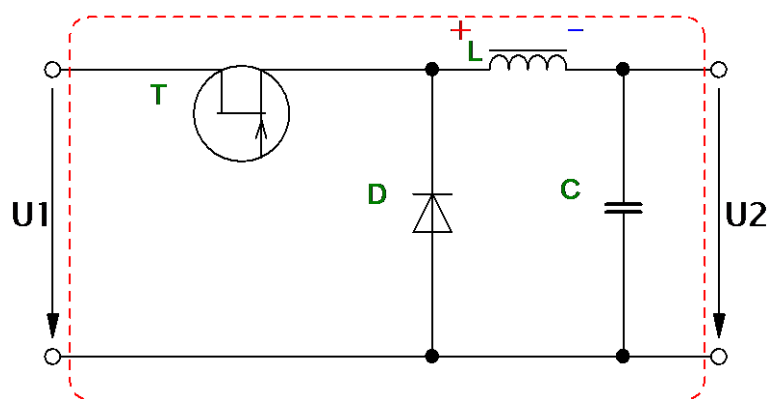
1.4.3 Snižující měnič (BUCK)

Snižující měnič se využívá, jak již název napovídá, pro snižování vstupního napětí na menší výstupní napětí. Toto výstupní napětí má vždy stejnou polaritu vůči společné svorce, jako napětí vstupní. Protože se tato práce zabývá návrhem snižujícího spínaného zdroje, teoretická část zabývající se tímto měničem bude obsáhlejší než u předchozích kapitol. Principiální schéma snižujícího měniče je na Obr. 1.5.



Obr. 1.5: Snížující měnič

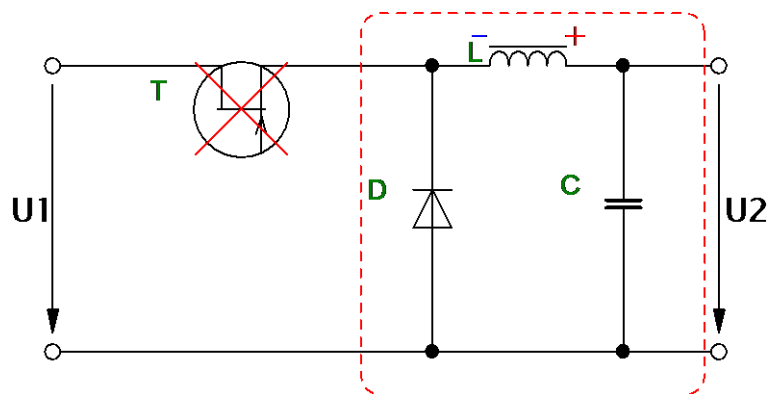
Princip funkce snížujícího zdroje je rozdělen do dvou pracovních cyklů, které jsou znázorněny pomocí Obr. 1.6 a Obr. 1.7.



Obr. 1.6: Snížující měnič - sepnutý spínač

Pracovní cyklus 1:

Pokud je spínač T sepnutý, roste proud procházející cívkou. Cívka akumuluje energii. Až řídící integrovaný obvod pomocí zpětné vazby vyhodnotí, že napětí U_2 dosáhlo požadované hodnoty, spínač T se rozepne. V tuto chvíli přichází na řadu pracovní cyklus 2.



Obr. 1.7: Snížující měnič - vypnutý spínač

Pracovní cyklus 2:

Až řídicí integrovaný obvod obvodu vyhodnotí, že výstupní napětí již dosáhlo požadované hodnoty, dojde k rozepnutí tranzistoru T. Cívka se snaží působit proti změně 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.

Návrhové vztahy snižujícího měniče:

Velikost výstupního napětí je přímo úměrné střídě spínání spínacího tranzistoru.

$$U_2 = s \cdot U_1 \quad (1)$$

Kde U_2 je výstupní napětí, U_1 vstupní napětí a s střída spínání. Proud cívkou i_L je dán vztahem (2)

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u_L(t) dt + I_{L0} [A] \quad (2)$$

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

Zvlnění výstupního proudu ΔI_L :

$$\Delta I = \frac{1}{L} \cdot (U_1 - U_2) \cdot t_{on} = \frac{U_2 \cdot t_{off}}{L} = \frac{U_1 \cdot s \cdot (1 - s)}{L \cdot f} \quad (3)$$

Empirický vztah pro velikost kapacity vyhlazovacího kondenzátoru:

$$C = \frac{\Delta I_L \cdot T}{8 \cdot \Delta U_{2MAX}} [F] \quad (4)$$

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 rovnic (5) a (6), kdy špičkový proud obvodem I_2 nesmí přesahovat kolektorový proud tranzistoru I_C . Dioda se dimenzuje na střední hodnotu výstupního proudu.

$$i_{cMAX}(t) = I_2 [A] \quad (5)$$

$$I_{Dstř} = I_2 \cdot (1 - s) [A] \quad (6)$$

2 BEZPEČNOSTNÍ HLEDISKA ZAŘÍZENÍ A EMC

Konstruovaný měnič využívá při napájení rozvodnou síť střídavého napětí 230V/50Hz. Měnič bude využíván jako stolní lampa, která jako zdroj světla bude využívat buzené LED. Vzhledem k tomu, že se předpokládá časté využívání laiky, je nutné otázce bezpečnosti věnovat velkou pozornost. Zařízení je určeno pouze pro provoz v prostorech normálních (běžné obytné prostory).

2.1 Ochranná opatření před úrazem elektrickým proudem

Základní pravidlo ochrany před úrazem elektrickým proudem [3]:

Nebezpečné živé části nesmí být přístupné a přístupné vodivé části nesmí být nebezpečně živé:

- ani za normálních podmínek (tj. provoz při určeném použití bez poruchy),
- ani za podmínek jedné poruchy.

K dodržení tohoto základního pravidla se musí provést některé z **ochranných opatření**. V konstruovaném výrobku bude jako ochranné opatření sloužit **dvojitá nebo zesílená izolace**. Další ochranná opatření jsou k nalezení v [5]. Každé z ochranných opatření má prostředek základní ochrany a prostředek ochrany při poruše.

- jako prostředek základní ochrany je využita **základní izolace**
- prostředkem ochrany při poruše je tzv. **zesílená izolace**
- musí zajišťovat krytí alespoň IP XXB (ochrana před dotykem prstu) nebo IP 2X (ochrana před vniknutím těles s větším průměrem než 12,5mm)
- vodivé části uzavřené v izolačním krytu nesmí být spojeny s ochranným vodičem

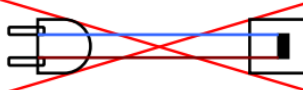
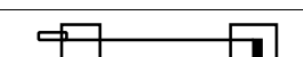
Konstruovaná lampa bude celá zakrytovaná izolačními materiály, ovládat se bude pomocí dotykového kapacitního snímače skrytého na vnitřní straně krytu, tudíž osoba nemůže, pokud nedojde k destrukci nebo demontáži krytu, přijít do styku s nebezpečnou živou částí.

2.2 Třídy ochrany EZ

Elektrická zařízení se z hlediska bezpečnosti dělí do několika tříd. Konstruované zařízení bude zařazeno do třídy ochrany II.

- **Zařízení třídy ochrany 0** – mají pouze základní izolaci, nemají prostředek ochrany při poruše. Jejich využívání je v ČR zakázáno.
- **Zařízení třídy ochrany I** – mají základní izolaci, ale i další bezpečnostní opatření (připojení neživých vodivých částí k ochrannému vodiči).

- **Zařízení třídy ochrany II** – tato zařízení chrání své uživatele proti úrazu dvojitou nebo zesílenou izolací. Nejsou připojena k ochrannému vodiči.
- **Zařízení třídy ochrany III** – jsou taková zařízení, která využívají pouze ELV (extra low voltage = malé napětí). Nemají žádný prostředek ochrany při poruše a nesmějí být vybavena prostředky pro připojení ochranného vodiče. Musejí být označena značkou.

Třída ochrany	Značka na předmětu	Princip ochrany	Poznámka
0			Nemá ochranné prostředky pro případ poruchy. Nepovoleno v ČR.
I			Spojení neživé části EZ s ochranným vodičem sítě.
II			Dvojitá či zesílená izolace EZ.
III			Zásuvka musí být nezáměnná. Připojení pouze k síti SELV nebo PELV.

¹⁾ Značka č. 5019 IEC 60417-2 se umístí trvanlivě na neživé části v místě určeném k připojení ochranného vodiče.

²⁾ Značka č. 5172 IEC 60417-2 se umístí trvanlivě na povrch předmětu, například na typový štítek.

³⁾ Značka č. 5180 IEC 60417-2 se umístí trvanlivě na povrch předmětu, například na typový štítek.

Obr. 2.1: Třídy ochrany EZ [3]

2.3 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita je schopnost zařízení fungovat i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů a zároveň však zařízení vlastní činností nesmí ovlivňovat okolí, např. produkcí rušivých signálů. Skládá se z dvou základních částí:

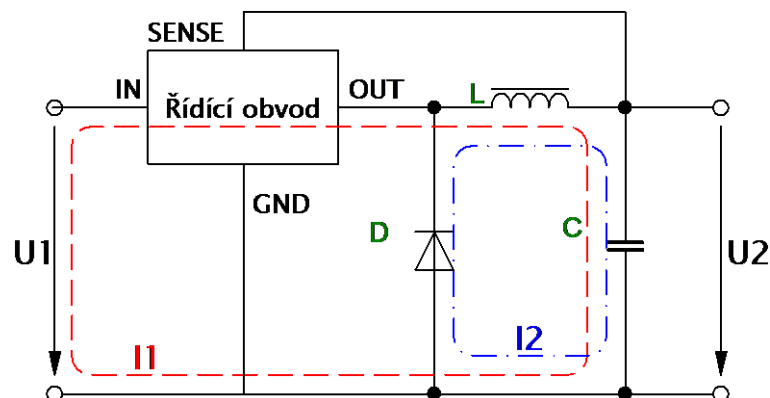
- Elektromagnetická interference (EMI) – zabývá se rozpoznáváním zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů – tzn. příčinami rušení
- Elektromagnetická susceptibilita (EMS) – zabývá se schopností zařízení správně pracovat v prostředí s dalšími elektromagnetickými vlivy

2.3.1 EMC a spínané zdroje

Problematiku EMC u spínaných zdrojů nelze zanedbat, jelikož současné spínané zdroje mají pracovní frekvence v řádu desítek až stovek kHz a představují tak potenciální riziko a to především v oblasti EMI, jelikož při nesprávném návrhu mohou do rozvodné sítě 230V/50Hz pronikat rušivé signály. Maximální velikost těchto rušivých signálů definguje norma ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 (pro obytná, obchodní a podobná prostředí). Pro další prostředí (tzv. průmyslová prostředí) existuje norma ČSN 61000-6-4. Normy se liší pouze v maximálních přípustných hodnotách rušících signálů.

Pro EMC spínaných zdrojů jsou stěžejní tyto záležitosti [4]:

- Obvodový návrh (přítomnost filtru)
- Plochy proudových smyček I_1 a I_2 (viz. Obr. 2.2)
- Návrh a rozvržení desky plošných spojů (uzel T-D-L)
- Kvalita použitých součástek



Obr. 2.2: Proudové smyčky ve spínaném zdroji

S problematikou EMC úzce souvisí i korekce účinníku. Korektory účinníku jsou určeny pro odebrání vyšších harmonických složek a kompenzaci fázového posunu proudu vůči napětí tak, aby byl minimalizován jalový výkon, tedy výkon, který není využit a pouze zbytečně zatěžuje rozvodnou síť.

Dle normy ČSN EN 61000-6-3 zapadá konstruovaný měnič do třídy C, která zahrnuje osvětlovací techniku s výjimkou stmívačů pro klasické a halogenové žárovky. V Tabulka 1 jsou patrné hodnoty maximálních velikostí dalších harmonických složek.

Tabulka 1: Relativní meze harmonických složek svítidel třídy C [12]

Řád harmonické složky (napájení 50Hz)	Max. dovolený proud harmonické (% vstupního proudu základní harmonické)
2	2
3	$30 \cdot \cos \varphi$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (pouze liché harmonické)	3

Dle normy ČSN EN 61000-6-3 je nutné použít korektor účinníku v takových zařízeních třídy C, která mají výkon nad 25W. Jelikož ale konstruovaný zdroj bude mít výkon asi 7W, není nutné se tímto problémem zabývat.

3 ELEKTROLUMINISCENČNÍ DIODY

3.1 Základní informace

LED (zkratka Light Emitting Diode, v překladu světlo emitující dioda) je v současnosti jeden z nejpoužívanějších zdrojů světla.

Počátek historie LED se datuje do 60. let 20. století. Roku 1962 byla americkým vědcem Nickem Holonyakem představena první LED, která vyzařovala červené světlo. Začátkem 70. let došlo k rozšíření palety barevných odstínů na oranžovou, zelenou a žlutou. Toto umožňovalo využívat LED jako signální kontrolky na elektrických zařízeních. S postupem času se objevovaly další barevné odstíny a postupně se zvyšoval světelný tok. Zlom nastal na začátku 90. let, kdy byla vyvinuta dioda emitující modré světlo, což umožňovalo smícháním základních barev (červená, zelená, modrá) vytvořit barvu bílou. Tento objev světelným diodám otevřel dveře do odvětví osvětlovací techniky, kde v současnosti nachází obrovské uplatnění. Moderní bílé LED fungují na principu emitování světla o jiné vlnové délce (barvě) a pomocí luminoforů vytvářejí světlo bílé.

Využití LED:

- Interiérové osvětlení (LED žárovky, LED čipy)
- Exteriérové osvětlení (veřejné osvětlení)
- Automobilový průmysl
- Dopravní osvětlení
- Indikátory stavu

Výhody LED:

- 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
- Spolehlivost
- Malé rozměry
- Rychlost rozsvícení

Nevýhody LED:

- Vyšší pořizovací cena
- Složitější řízení
- Problematika chlazení

Po přepočítání nákladů se LED ale diody jeví jako vhodnější typ svítidla. Názorný příklad je uveden v Tabulka 2. Zde je k nalezení srovnání klasické žárovky a LED GT-

M28351W550-0, jež jsou použity v konstruovaném zařízení.

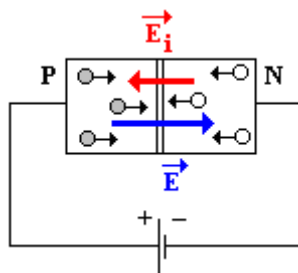
Tabulka 2: Srovnání parametrů klasické žárovky a LED diody

	Klasická žárovka	LED GT-M28351W550-0
Cena	12 Kč	4,40 Kč
Výkon	60W	0,48W
Světelný výkon	630lm	50lm (při $I=150\text{mA}$)
Efektivita	10,5 lm/W	104 lm/W

Pro dosažení stejného světelného výkonu, jaký má 60W žárovka (630lm) je tedy potřeba počet 13 diod GT-M28351W550-0, jejichž celkový výkon je pouze 6,24W, což je proti klasické žárovce zhruba desetina. LED tedy jednoznačně vycházejí jako výhodnější varianta svítidel, 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 minimální.

3.2 Princip funkce a vlastnosti LED

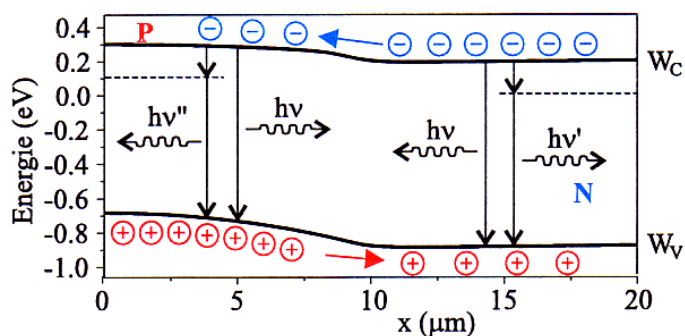
Základními stavebními kameny funkce světelných diod jsou P-N přechod a princip elektroluminiscence. P-N přechody se dělí na homogenní a heterogenní. Vysocesvítivé, modré a fialové diody využívají heterogenní P-N přechod. Heterogenní přechod je zkonstruován z dvou různých polovodičových materiálů na každé straně přechodu. Homogenní přechod je naopak tvořen pouze z jednoho materiálu. Po přivedení napětí v propustném směru přes P-N přechod jsou majoritní nosiče (v polovodiči typu N elektrony, v typu polovodiči P díry) injektovány do oblasti, kde se z nich stávají nosiče minoritní, jak je patrné z Obr. 3.1. Toto způsobí nerovnovážný stav, což znamená, že v obou polovodičích převažují minoritní nosiče. Nastává rekombinace, která má za úkol vytvořit stav rovnovážný.



Obr. 3.1: P-N přechod v propustném směru[6]

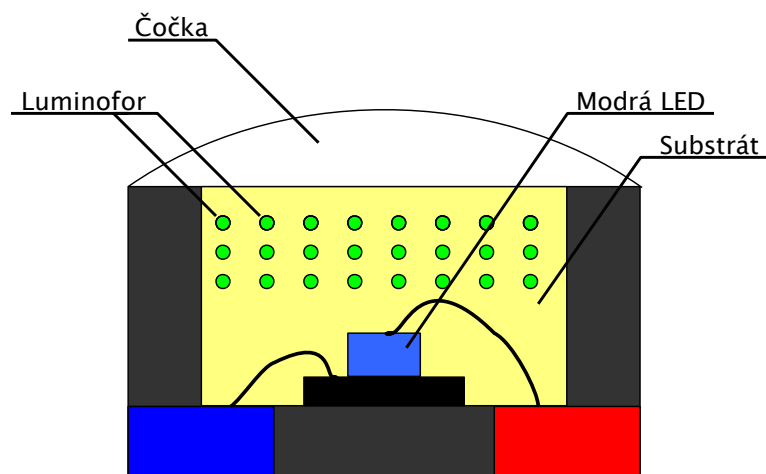
Rekombinaci rozeznáváme zářivou a nezářivou. Při zářivé rekombinaci elektron ztrácí energii a vyzáří ji ve formě fotonu, při nezářivé ji ve formě fotonu předá mřížce. Čím větší je vyzářená energie, tím je kratší vlnová délka, která je dána rozdílem energie nosiče elektrického náboje před a po rekombinaci. Šířka zakázaného pásu určuje přibližně vlnovou délku, na níž závisí barva vyzařovaného světla. Se zvyšující se šířkou zakázaného pásu pak roste i pravděpodobnost zářivé rekombinace. Na Obr. 3.2 je princip

elektroluminiscence přiblížen.



Obr. 3.2: Princip elektroluminiscence [11]

Na Obr. 3.3 je naznačena mechanická konstrukce bílé LED. V substrátu jsou přítomny luminofoxy reagující na modré světlo a vypouštějící světlo bílé. Jako luminofor se často využívá např. fosfor. Čočka slouží k usměrnění světelných paprsků.



Obr. 3.3: Konstrukce bílé LED

Základními faktory ovlivňující vlastnosti světelných diod jsou použitý materiál, chemické složky a jejich vzájemný poměr, velikost zakázaného pásu atd. V současnosti se nejčastěji používají sloučeniny III. a V. skupiny periodické tabulky prvků. Přehled jednotlivých prvků a vlastností jejich sloučenin je naznačen v

Tabulka 3.

Tabulka 3: Přehled vlastností LED

Barva	Vlnová délka [nm]	Napětí [V]	Sloučenina
infračervená	nad 760	max. 1,9	GaAs AlGaAs
červená	610-760	1,63-2,03	AlGaAs GaAsP AlGaInP GaP
oranžová	590-610	2,03-2,1	GaAsP AlGaInP GaP
žlutá	570-590	2,1-2,18	GaAsP AlGaInP GaP
zelená	500-570	1,9-4,0	InGaN/GaN GaP AlGaInP AlGaP
modrá	450-500	2,48-3,7	ZnSe InGaN SiC Si
fialová	400-450	2,76-4,0	InGaN
ultrafialová	do 400	3,1-4,4	AlN AlGaN AlGaInN
bílá	celé spektrum	3,5	modrá/UV luminofoxy

Bílé LED ke své funkci používají luminofoxy, tzn. látky, které jsou citlivé na záření dané vlnové délce a přeměňují jej na světlo bílé barvy. Nejčastěji se pro vybuzení luminoforů používají LED, které primárně vyzařují modrou barvu.

3.3 Řízení LED

LED diody mají specifické nároky na řízení. Musí být buzeny zdrojem proudu. Integrovaný obvod použitý v navrhovaném spínaném zdroji umožňuje nastavit parametry výstupního proudu a napětí tak, aby byl zajištěn bezproblémová funkce LED. LED 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:

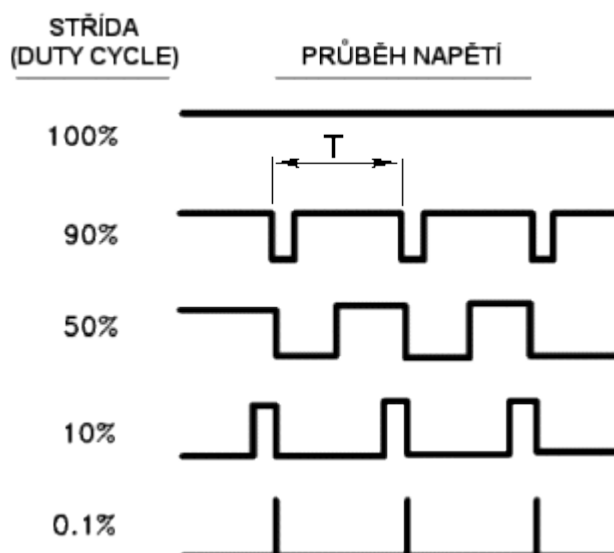
- Velikost proudu diodami
- Úbytek napětí na diodě (tzv. propustné napětí)
- Celkový počet diod v řetězci
- Řízení jasu diod

Světelné diody je nutno řídit stejnosměrným proudem. 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 asi 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_F , 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 je zmíněno v předešlé kapitole.

Změna velikosti proudu procházejícího diodami má za následek změnu jasu. Změny velikosti proudu lze dosáhnout několika různými způsoby. Mezi nejpoužívanější patří tzv. PWM (pulse-width modulation, pulzně šířková modulace). Integrované obvody, které jsou v současnosti pro řízení LED dostupné, umožňují využití ještě funkce Linear dimming. V konstruovaném zařízení je pro řízení jasu diod využit PWM signál. Tento signál lze jednoduše popsat jako obdélníkový signál s proměnnou střídou, jak je patrné z Obr. 3.4.



Obr. 3.4: PWM signál a jeho varianty

Střída signálu v podstatě přímo odpovídá intenzitě jasu řízených LED. Diody svítí nejjasněji při 100% střídě, naopak při 0% nesvítí vůbec. PWM signál je možno generovat mikrokontroléry, k dispozici jsou však již nejrůznější konstrukční moduly určené přímo pro generování PWM signálu.

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 15ks LED GT-M28351W550-0. Tento typ diod byl zvolen z důvodu poměrně vysokého výstupního světelného toku (50lm při 150mA). Výstupní veličiny měniče jsou následující:

$$U = U_F \cdot n [V]$$

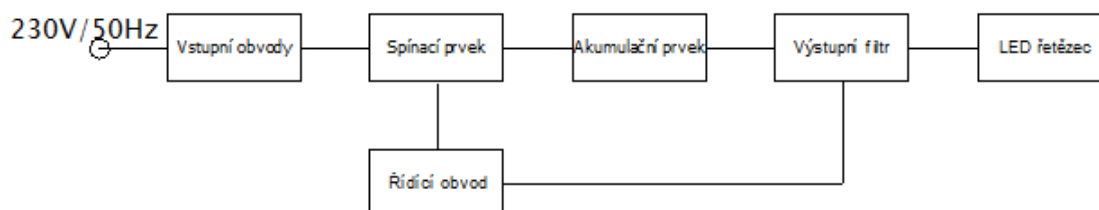
Kde U_F je propustné napětí diody a n počet diod v řetězci. Výstupní napětí tedy bude rovno:

$$U = 3,2 \cdot 15 = 48V$$

Výstupní proud byl zvolen 140mA.

4.1 Blokové schéma zdroje

Navržené blokové schéma je patrné na Obr. 4.1.

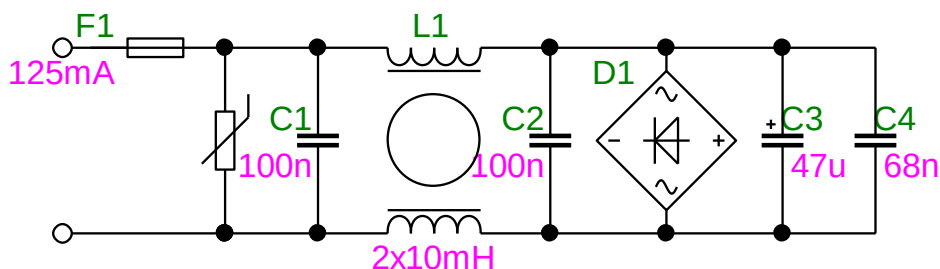


Obr. 4.1: Blokové schéma navrhovaného zdroje

Jednotlivým blokům se věnují následující kapitoly.

4.2 Vstupní obvody

Vstupní obvod navrhovaného spínaného zdroje má čtyři základní části: pojistku, varistor, dvoucestný usměrňovač s vyhlazovacími kondenzátory a širokopásmový filtr, který zabraňuje pronikání rušivých signálů ze zdroje do sítě.



Obr. 4.2: Schéma vstupních obvodů

4.2.1 Pojistka a varistor

Pojistka chrání obvod celého driveru proti nadproudům a zkratům. Je zabudována na DPS na fázovém vodiči. Její maximální proud je 125mA. Varistor chrání obvody před přepětím v síti. Při dosažení jmenovitého napětí se varistor minimalizuje svůj odpor a společně s ochrannými prvky v rozvodné síti přístroj ochrání před přepětím. Zvolen byl varistor se jmenovitým napětím 370V.

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 Obr. 4.2 Jako kondenzátory C1 a C2 byly použity fóliové kondenzátory KEMET R46 o kapacitě $100\text{nF} \pm 10\%$ a jmenovitém napětí 275V~. Byla použita také proudově kompenzovaná cívka se společným jádrem KEMET SU9VH o indukčnosti $2 \times 10\text{mH}$. Jmenovitý proud této cívky je 0,7A. Tento filtr je schopen tlumit jak soufázové, tak protifázové rušení.

4.2.3 Usměrňovač

Pro usměrnění vstupního proudu a napětí bude použit běžný usměrňovací můstek. Pro vyhlazení výstupního napětí usměrňovače jsou použity celkem tři kondenzátory – jeden $47\mu/450\text{V}$, jeden $4,7\mu/450\text{V}$ a jeden keramický $68\text{n}/600\text{V}$. Keramický kondenzátor je zařazen z toho důvodu, že lépe potlačuje vysokofrekvenční složky ve spektru usměrněného signálu [4].

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. 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 Obr. 4.3.

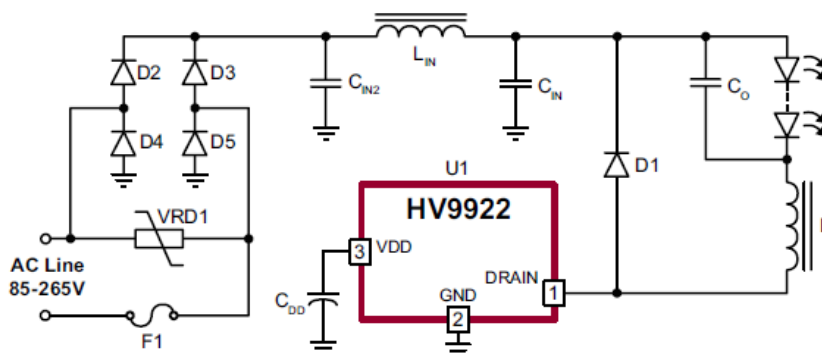


Obr. 4.3: Integrovaný obvod Microchip HV9922 [8]

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

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

Jak je patrné z Obr. 4.4, výsledné zapojení je velmi jednoduché.



Obr. 4.4: Typické zapojení obvodu s HV9922 [8]

Limitujícím faktorem tohoto snižujícího měniče je především pevně stanovený výstupní proud 50mA. Dále pak není možné měnit intenzitu jasu diod. Proto je tento jednoduchý

měníč 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 Obr. 4.5: 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.

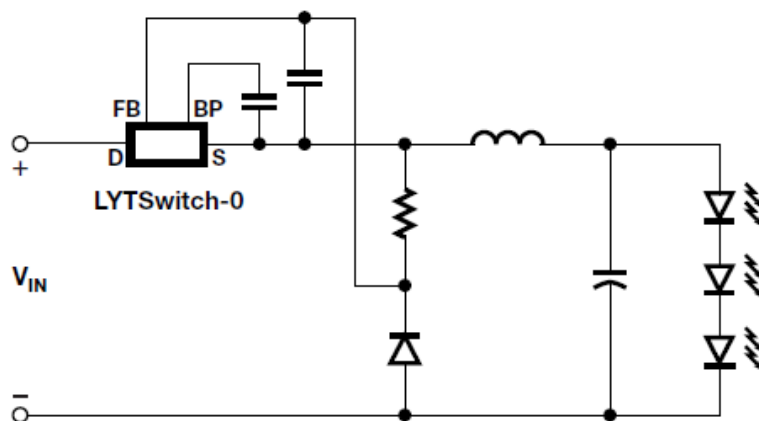


Obr. 4.5: Integrovaný obvod Power Integrations LYT0006P [9]

Základní vlastnosti:

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

Příklad obvodového zapojení měniče buck je na Obr. 4.6. Předpokládá se, že na svorkách V_{IN} je usměrněné síťové napětí.



Obr. 4.6: Typické zapojení LYT0006P [9]

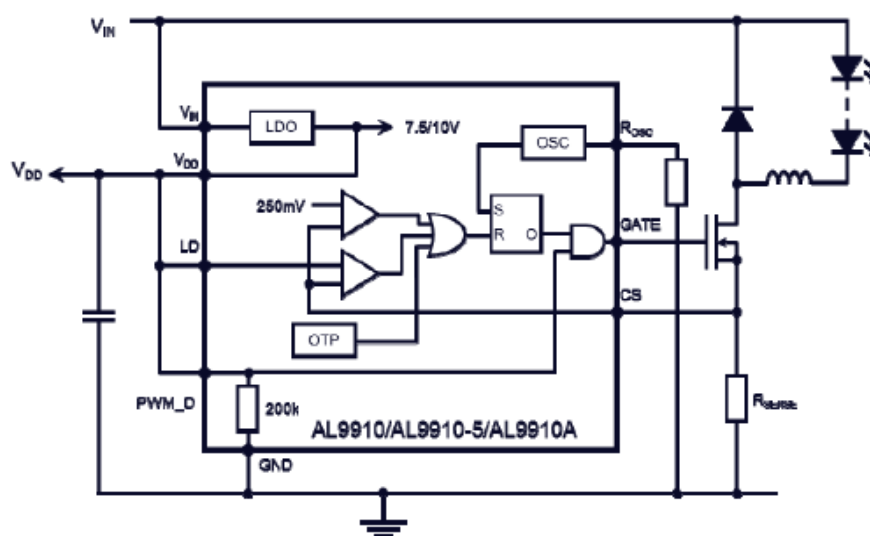
Diodes Incorporated AL9910

Integrovaný obvod AL9910A je vysokonapěťový LED driver. Nabízí efektivní řešení pro řízení vysoce svítivých LED pomocí síťového napětí v rozsahu 85V~ až 277V~. 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. Tento integrovaný obvod byl na základě srovnání parametrů, zobrazených v Tabulce 4, vybrán pro konstrukci požadovaného měniče.

Tabulka 4: Základní parametry integrovaných obvodů

Parametr	AL9910	HV9922N8-G	LYT0006P
Výrobce	Diodes Inc.	Microchip	Power Integrations
Topologie	snižující zvyšující	snižující	snižující zvyšující flyback
Vstupní napětí	85 - 275 V~	85 - 265 V~	85 - 308 V~
Maximální výstupní proud [mA]	nastavitelný	50	280
Spínací frekvence [kHz]	nastavitelná	95	66
Možnost stmívání	ANO	NE	NE
Cena [Kč] (farnell.com)	28	27	33

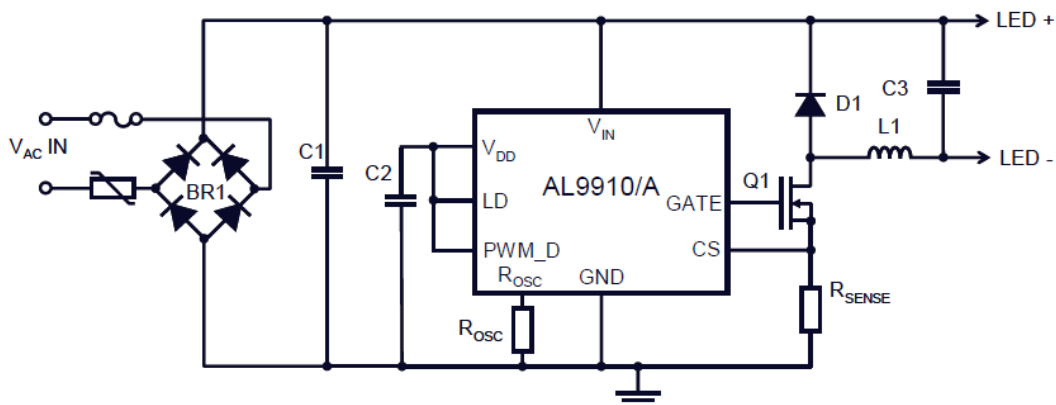
Obvod AL9910 vychází při srovnání základních parametrů uvedených obvodů nejlépe, a to především z důvodu jisté „univerzálnosti“, kdy je možné si nastavit pomocí hodnot obvodových prvků jak spínací frekvenci, tak především velikost výstupního proudu, což je nejdůležitější veličina. Ostatní dva obvody mají velikost výstupního proudu pevně stanovenou, což se jeví jako velká nevýhoda. Další výhodou obvodu AL9910 je to, že v sobě nemá integrovaný tranzistor a tím je tak využitelný i v náročnějších aplikacích, které mohou dodávat proud o velikosti až jednotek ampér. Blokové schéma integrovaného obvodu je na Obr. 4.7.



Obr. 4.7: Blokové schéma AL9910A [10]

Na vstup V_{IN} je přivedeno usměrněné a vyfiltrované síťové napětí, tedy $324V_{=}$. Pomocí bloku LDO (Low Drop Out regulator) je přivedené napětí regulováno 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 přerušení spínání. Blok OTP (overheat thermal protection) je teplotní ochrana, která chrání obvod před zničením. Teplota, při které se OTP aktivuje, je $85^{\circ}C$.

Typické zapojení obvodu AL9910A jako snižující měnič je na Obr. 4.8.



Obr. 4.8: Schéma zapojení AL9910A jako snižujícího měniče [10]

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.

Další možností, jak řídit jas diod je pomocí PWM modulace. Tento řídicí signál je přiveden na hradlo AND, což znamená, že pokud je hodnota signálu v daném okamžiku na logické úrovni 0, obvod nepřivádí na svorku tranzistoru GATE napětí, a nedochází tak k sepnutí tranzistoru. Pokud je signál v daném okamžiku na logické úrovni 1, tranzistor může být sepnut (to ale záleží na stavech na ostatních hradlech, jak vidno v blokovém schématu). Frekvence PWM signálu se musí pohybovat v rozsahu 50Hz až 1kHz. Navrhovaný měnič bude řízen právě pomocí signálu PWM, který bude generován mikrokontrolérem ATtiny10.

4.3.2 Návrh obvodových prvků měniče

Návrh obvodových prvků se řídí především vzorci v katalogovém listu AL9910.

Hodnota R_{OSC} , tedy odporu, který nastavuje spínací frekvenci měniče, se vypočítá dle rovnice (7). Rovnice (7) až (9) byly převzaty z [10].

$$t_{OSC} = \frac{R_{OSC}(k\Omega) + 25}{22} [\mu s] \quad (7)$$

Hodnota R_{OSC} byla stanovena na $82k\Omega$. Pomocí vzorce (8)

$$t_{OSC} = \frac{82 + 25}{22} [\mu s] = 4,16 \mu s$$
$$f_{OSC} = \frac{1}{t_{OSC}} [Hz] \quad (8)$$

$$f_{osc} = \frac{1}{4,16 \cdot 10^{-6}} = 240384 \text{ Hz}$$

Hodnota snímacího odporu R_{SENSE} se vypočítá podle (9) .

$$R_{SENSE} = \frac{0,25}{I_{LED} + (0,5 \cdot (I_{LED} \cdot 0,3))} [\Omega] \quad (9)$$

Kde I_{LED} je proud procházející zátěží, tedy zvolených 140mA. Po dosazení do (9) dostaneme:

$$R_{SENSE} = \frac{0,25}{0,14 + (0,5 \cdot (0,14 \cdot 0,3))} = 1,55 \Omega$$

Bude nutné použít rezistor o odporu $1,5 \Omega$ z odporové řady E6.

Ztrátový výkon na rezistoru R_{SENSE} je roven:

$$P_Z = I^2 \cdot R_{SENSE} \quad (10)$$

$$P_Z = 0,14^2 \cdot 1,55 = 30mW$$

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 řízen integrovaným obvodem AL9910. Tranzistor musí být v závislosti na řídicím obvodu N-kanálový a měl by splňovat následující požadavky:

- Maximální proud kolektorem (drainem) alespoň 140mA
- 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 sepnutém stavu

V navrhovaném měniči je použit N-kanálový MOSFET tranzistor IPD50R380CE od firmy Infineon, který výše uvedené požadavky beze zbytku splňuje. Jeho parametry jsou uvedeny v Tabulka 5. Jeho výhodou je velmi malý odpor v přechodu drain-source.

Tabulka 5: Vlastnosti spínacího tranzistoru IPD50R380CE

Veličina	Max. hodnota	Jednotka
$I_{D_{MAX}}$	9,9	A
$U_{DS_{MAX}}$	500	V
$U_{GS_{MAX}}$	± 20	V
Pracovní teplota	-55 až 150	°C
Doba zpoždění	35	ns
Max. ztrátový výkon	73	W
Pouzdro	TO-252	-
R_{DS}	0,35	Ω



Obr. 4.9: N-kanálový MOSFET tranzistor IPD50R380CE[11]

4.4 Akumulační prvek – výkonová cívka

Předpokládejme, že napájený LED řetězec bude složen z 15 ks vysocesvítivých LED GT-M28351W550-0, úbytek napětí na jedné diodě je 3,2V, celkové výstupní napětí měniče bude tedy $V_{LED} = 48V$. Proud řetězcem je stanoven na 140mA.

Střidu spínání vypočítáme podle vztahu (11),

$$D = \frac{V_{LED}}{V_{IN}} [-] \quad (11)$$

kde V_{LED} je celkový úbytek napětí na LED řetězci, tedy 48V, a V_{IN} je vstupní napětí, tedy $1,41 \cdot 230V = 324V$. Velikost střidy tedy bude:

$$D = \frac{48}{324} = 0,148$$

Čas t_{on} , tedy délka sepnutí tranzistoru, se vypočítá podle vztahu (12).

$$t_{on} = \frac{D}{f_{osc}} [s] \quad (12)$$

$$t_{on} = \frac{0,148}{240384} = 615 \text{ ns}$$

Velikost indukčnosti tlumivky je dána vztahem (13).

$$L \geq \frac{(V_{IN} - V_{LED}) \cdot t_{on}}{0,3 \cdot I_{LED}} [mH] \quad (13)$$

$$L \geq \frac{(324 - 48) \cdot 615 \cdot 10^{-9}}{0,3 \cdot 0,14} = 4,04mH$$

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

Tabulka 6: Parametry výkonové cívky

Indukčnost	4,7mH $\pm$ 10%
Saturační proud	410mA
Rezonanční kmitočet	610 kHz

Při výběru cívky je nutné brát v potaz její rezonanční kmitočet a maximální jmenovitý (saturační) proud. V opačném případě by se mohlo stát, že by cívka radikálně změnila svoje vlastnosti a způsobila by tak nestandardní chování obvodu.

4.5 Hlavní usměrňovací dioda

Dioda musí být dimenzována minimálně na střední hodnotu výstupního proudu. Při daném výstupním proudu 140 mA je střední hodnota napětí dána vztahem (14)

$$I_{Dstř} = I_2 \cdot (1 - s) = 140 \cdot (1 - 0,148) = 119,3mA \quad (14)$$

Závěrné napětí diody D₁ 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 STMICROELECTRONICS STTH2R06U. Její parametry jsou uvedeny v Tabulka 7.

Tabulka 7: Parametry hlavní usměrňovací diody

Max. závěrné napětí	600V
Jmenovitý proud	2A
Úbytek napětí	1,7V
Doba zotavení	50ns

4.6 Výstupní kondenzátor

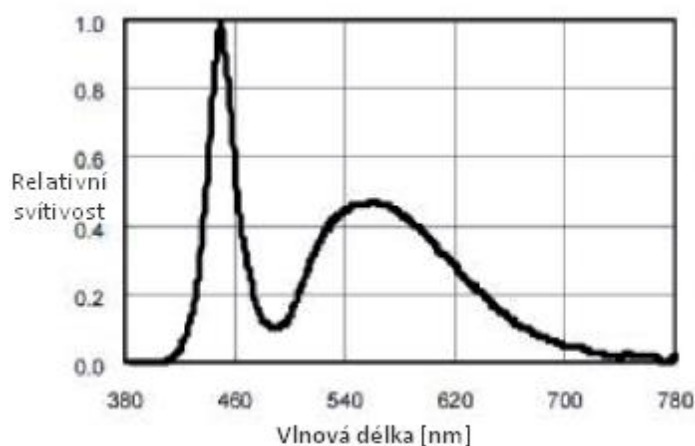
Výstupní kondenzátor by měl mít co nejmenší ESR (ekvivalentní sériový odpor), který negativně ovlivňuje celkovou účinnost měniče. Velikost výstupního vyhlazovacího kondenzátoru C_{OUT}:

$$C_{OUT} = \frac{\Delta I_L \cdot T}{8 \cdot \Delta U_{2MAX}} \quad (15)$$
$$C_{OUT} = \frac{0,045 \cdot \frac{1}{170000}}{8 \cdot 0,5} = 66,8nF$$

Minimální kapacita výstupního kondenzátoru je tedy asi 55nF, tomu z řady odpovídá hodnota 68nF. Vhodný se pro tuto aplikaci jeví fóliový kondenzátor VISHAY BFC237363683. Jeho jmenovité napětí je 630V, což je zcela dostačující.

4.7 LED

Vysoce svítivé LED 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. LED GT-M28351W550-0, použitá ve světelném řetězci má spektrum vyzářeného elektromagnetického záření, které je znázorněno na Obr. 4.10.



Obr. 4.10: Spektrum záření LED GT-M28351W550-0 [5]

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 Obr. 4.10 je patrné, LED GT-M28351W550-0 nejvíce vyzařuje záření o vlnové délce v rozmezí 430nm až 460nm, což odpovídá modré barvě vyzařovaného záření. Teprve pomocí luminoforů citlivých právě na modré světlo se uvolní světlo o barvě bílé.

LED řetězec je složen z 15ks LED GT-M28351W550-0. Celkové požadované napětí tedy bude rovno:

$$U = U_F \cdot n [V] \quad (16)$$

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

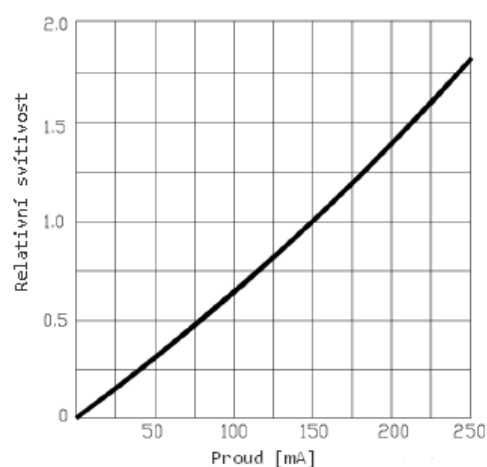
Poté bude hodnota U_{MAX} a U_{MIN} rovna:

$$U_{MIN} = 3,0 \cdot 15 = 45,0 V$$

$$U_{MAX} = 3,4 \cdot 15 = 51,0 V$$

Maximální jmenovitý proud $I_{MAX}=150mA$ je uveden v katalogovém listu. Jak uvádí Obr. 4.11, světelný tok by se při proudu diodami $I=250mA$ skoro zdvojnásobil, nicméně by zřejmě došlo ke zkrácení životnosti diod.

Závislost relativní svítivosti
na proudu



Obr. 4.11: Závislost relativního světelného toku diod na proudu [5]

V Tabulka 8 jsou shrnuty základní parametry diod GT-M28351W550-0 použitých v řetězci, který se bude ovládat navrženým spínaným zdrojem.

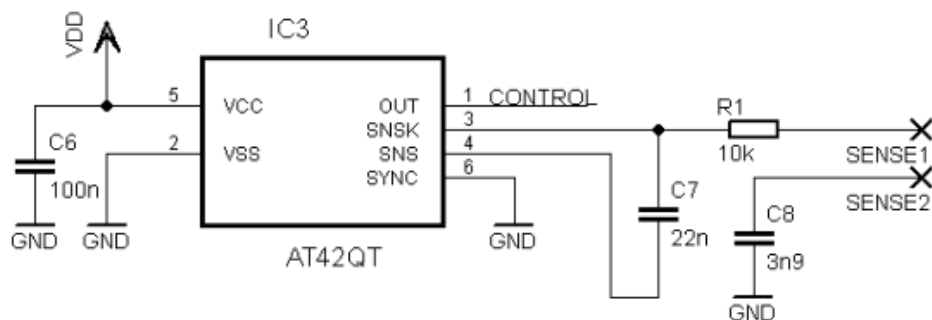
Tabulka 8: Vlastnosti LED GT-M28351W550-0

(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

4.8 Řízení jasu LED

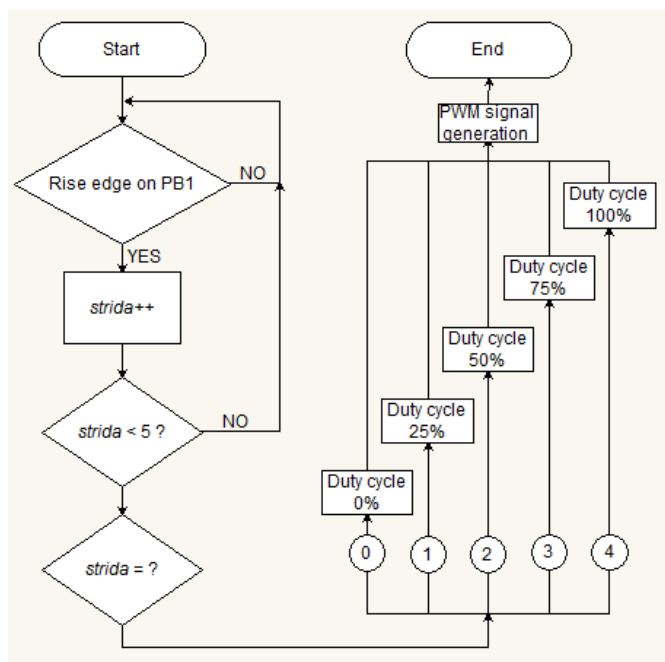
Je využit princip PWM regulace. Pro řízení jasu LED jsou využity dva integrované obvody – mikrokontrolér Atmel ATtiny10 a kapacitní snímač Atmel AT42QT1010-TSHR. Oba obvody jsou napájeny pomocí stabilizátoru napětí Texas Instruments LP2950-3.3 napětím o velikosti 3,3V. Stabilizátor snižuje výstupní napětí na sorce VDD řídicího obvodu AL9910. Tento obvod je schopen dodat až 1mA proudu do obvodu.

Obvod kapacitního snímače je navržen dle katalogového listu obvodu Atmel AT42QT1010. Na svorky SENSE1 a SENSE2 je připojena elektroda. Jako elektroda je využit kupředitivová destička o rozměrech 5cm x 5cm. Integrovaný obvod vyhodnocuje přítomnost lidské ruky u elektrody. V případě, že je ruka v blízkosti desky, na výstupu OUT (signál CONTROL) je přítomna logická 1, v opačném případě logická 0. Signál CONTROL je přiveden na port PB1 mikrokontroléru AVR Atmel ATtiny10. Hodnoty kapacity kondenzátorů C7 a C8 byly zvoleny pomocí testování pro dosažení nejlepších výsledků tak, aby snímač nebyl moc citlivý na okolní vlivy.



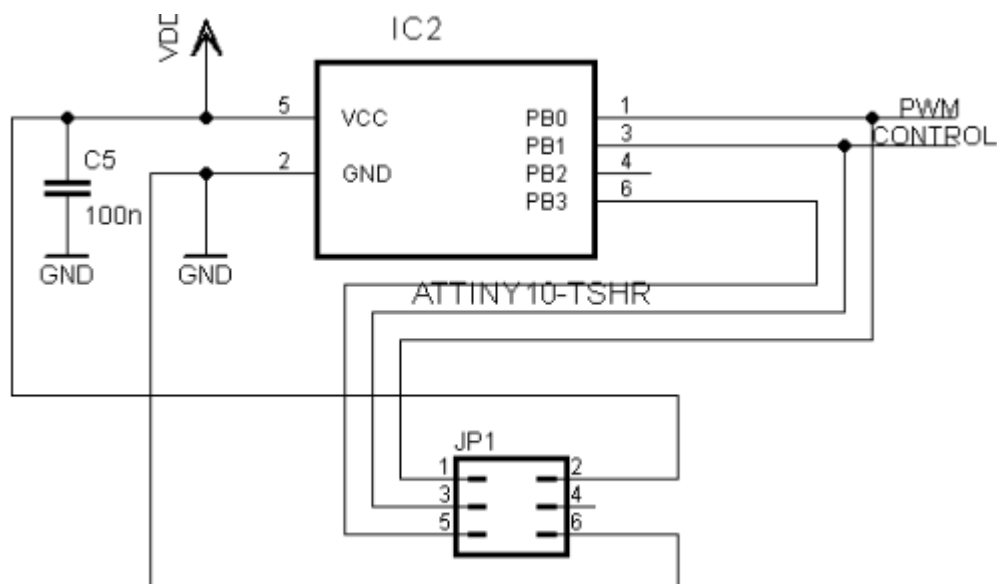
Obr. 4.12: Schéma zapojení kapacitního snímače

Ke generování PWM signálu slouží již zmíněný mikrokontrolér AVR Atmel ATtiny10, programován v jazyce C. Mikrokontrolér vyhodnocuje signál CONTROL na vstupním portu PB1. Bylo zvoleno 5 různých hodnot střidy signálu PWM (0%, 25%, 50%, 75%, 100%). Mikrokontrolér je programován tak, že na portu PB1 detekuje náběžnou hranu signálu CONTROL a tím přepíná střidu generovaného signálu. Vývojový diagram programu je znázorněn na Obr. 4.13.



Obr. 4.13: Vývojový diagram programu

Z diagramu je patrné, že při detekci náběžné hrany na portu PB1 dojde k přerušení, jehož výsledkem je zvýšení proměnné *strida*, která svojí hodnotou ovlivňuje střidu generovaného signálu. Signál je generován na frekvenci 1kHz. Pro hodnotu *strida*=0 je střida 0%, pro hodnotu *strida*=5 je pak střida rovna 100%. Signál PWM je generován na portu PB0 a je přiveden na pin PWM_D řídicího obvodu AL9910 a tím tak řídí jas řízených diod.



Obr. 4.14: Schéma zapojení ATtiny10

Jak je ze schématu zapojení patrné, na desku plošných spojů byl přidán konektor JP1 pro programování mikrokontroléru a odladění jeho funkce.

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. Výstupní napětí měniče není galvanicky oddělené od země, nicméně uživatel s ním při správné manipulaci v žádném případě nemůže přijít do styku. Zařízení je totiž konstruováno jako stolní lampa, která je ovládána bezdotykovým kapacitním snímačem.

Byly navrženy celkem tři desky plošných spojů (viz. Přílohy), jedna pro vstupní obvody, jedna pro samotný spínaný zdroj, a jedna pro LED řetězec. Desky vstupního obvodu a obvodu zdroje jsou umístěny v tzv. základně lampy. Zde bude i na vhodném místě umístěn elektroda kapacitního snímače, pomocí něž se bude zdroj ovládat.

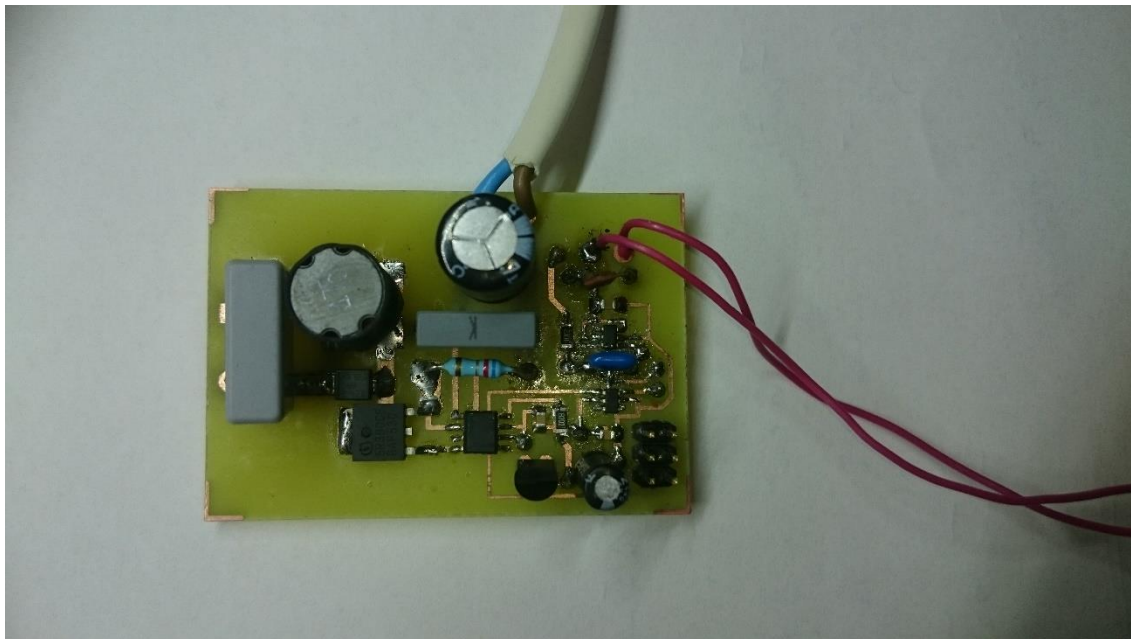
Uvnitř konstrukčního boxu jsou desky plošných spojů uchyceny pomocí lepidla a distančních kroužků. Sítové napětí je přivedeno pomocí flexo kabelu o délce 2m. LED řetězec bude umístěn na v konstrukční krabici na konci kovové tyče, která povede ze „základny“ lampy. V kovové tyči je použit dvakrát izolovaný kabel o průřezu $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$.

Sestavená lampa je na Obr. 5.1.



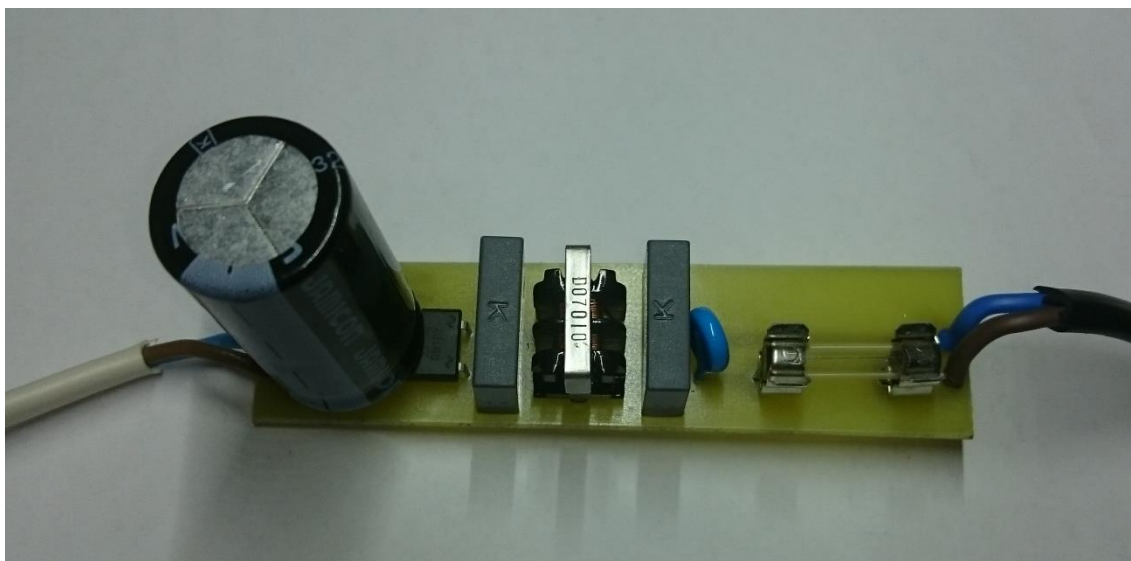
Obr. 5.1: Vzhled výsledného výrobku

Na Obr. 5.2 je fotografie osazení DPS.



Obr. 5.2: Osazení DPS

Na Obr. 5.3 je fotografie osazeného vstupního obvodu.



Obr. 5.3: Vstupní obvod

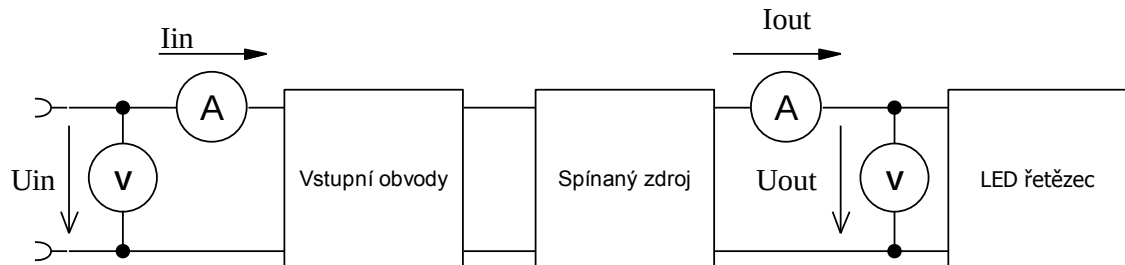
5.2 Sestavení a oživení zdroje

Při sestavení a oživení přístroje byl veden následující postup:

- 1) Osazení integrovaného obvodu AT42QT1010 a odladění jeho funkce tak, aby při přiblížení ruky k elektrodě přes izolační materiál správně reagoval
- 2) Osazení integrovaného obvodu ATtiny10 a pomocí programátoru Atmel ISP mkII nahrání programu do paměti mikrokontroléru.
- 3) Odladění funkce mikrokontroléru pomocí úprav ve zdrojovém kódu
- 4) Osazení obvodu spínaného zdroje

5.3 Měření základních parametrů měniče

Na Obr. 5.4 je patrné schéma měření vstupních a výstupních veličin zdroje. Byla měřena účinnost zdroje a stabilita výstupního proudu v závislosti na vstupním napětí.

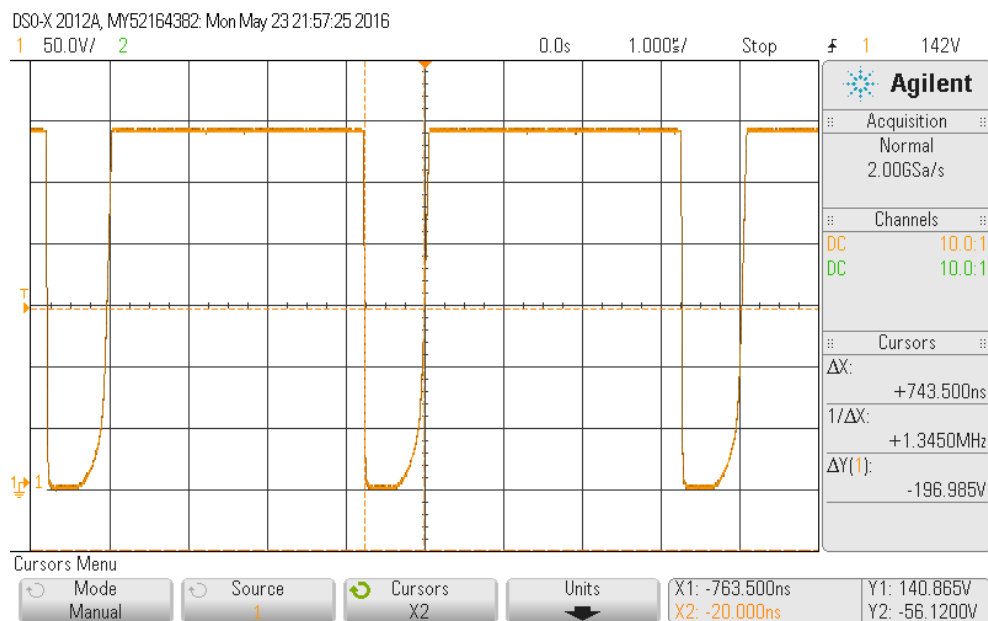


Obr. 5.4: Schéma zapojení při měření

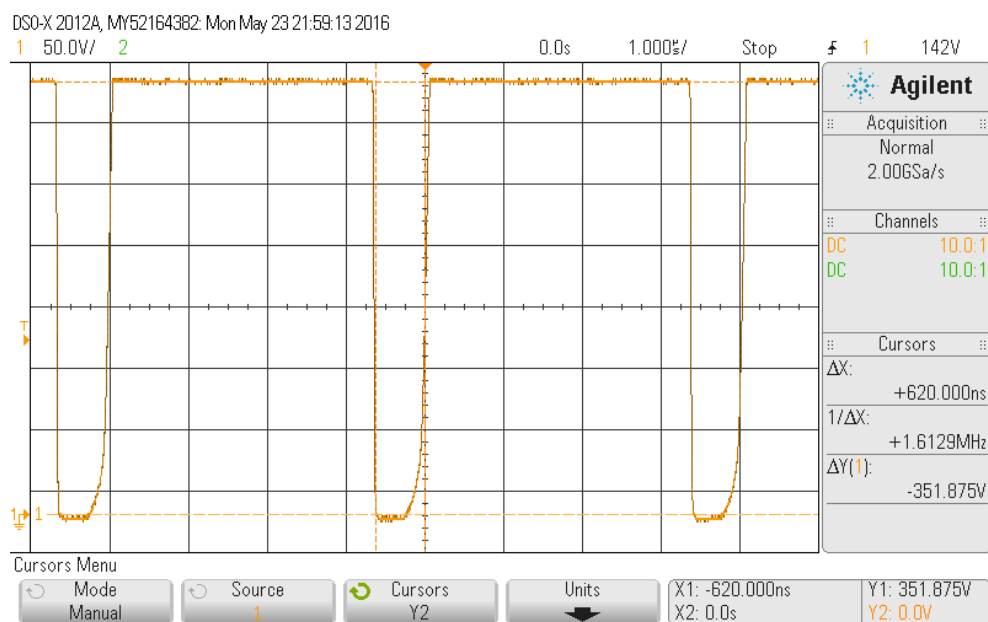
Byly užity následující přístroje:

- Voltmetr (U_{in}) – panelový voltmetr Pros'Kit MT2017
- Ampermetr (I_{in}) – multimetr Uni-T UT61E
- Voltmetr (U_{out}) – multimetr Uni-T UT33D
- Ampermetr (I_{out}) – multimetr Uni-T UT61E
- Zdroj U_{in} – Diametral AC250K1D
- Osciloskop – Agilent InfiniiVision DSO-X2012A

Na Obr 5.5 a Obr 5.6 jsou průběhy napětí U_{d-s} na spínacím tranzistoru. Při srovnání obrázků je patrné, že s vyšším vstupním napětím se zkracuje doba sepnutí tranzistoru.



Obr 5.5: Průběh napětí U_d -s při vstupním napětí 207V



Obr 5.6: Průběh napětí U_d -s při vstupním napětí 254V

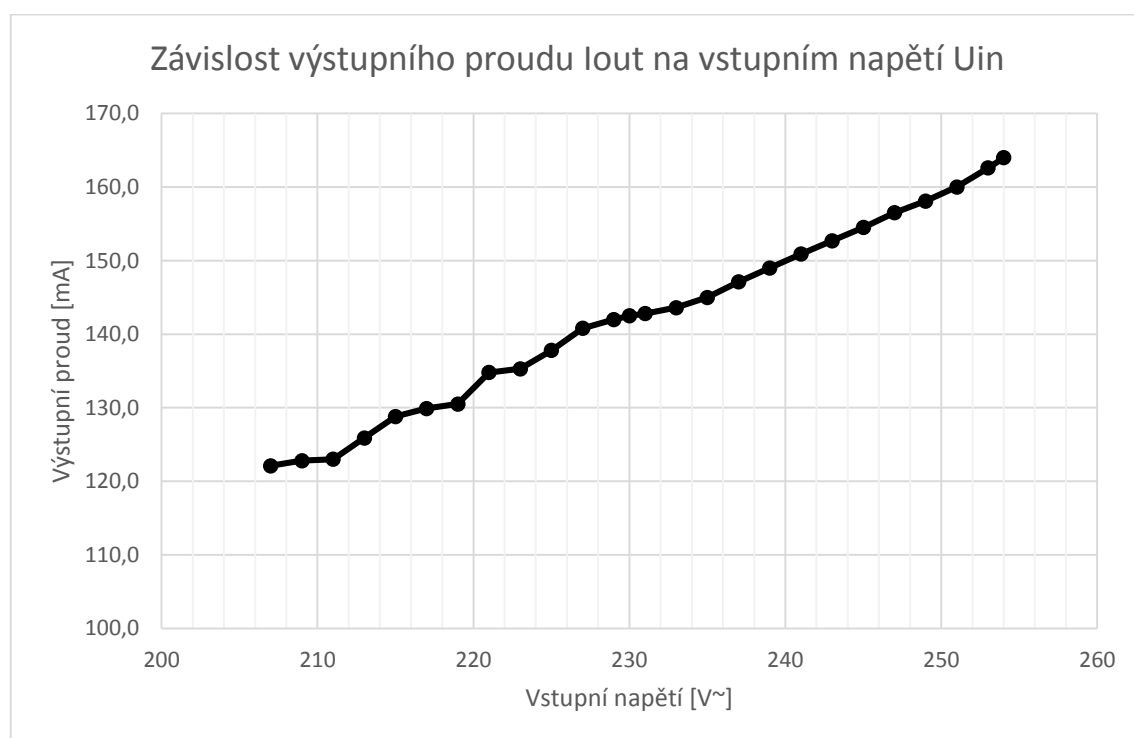
V Tabulka 9 jsou zaznamenány hodnoty naměřené při testování přístroje. Přístroj byl testován v rozsahu vstupních napětí od 207 do 254V~ (toleranční rozsah sítě 230V/50Hz $\pm 10\%$) a při střídě PWM signálu 100%, tzn. při plném jasu diod. Je nutné zmínit, že hodnoty obvodových prvků byly navrženy pro vstupní napětí 230V~ (po usměrnění a filtraci 324V=).

Tabulka 9: Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty vstupních a výstupních napětí a proudů													
$U_{in} [V\sim]$	207	209	211	213	215	217	219	221	223	225	227	229	230
$I_{in} [mA]$	37,0	37,0	38,0	39,0	40,0	40,5	40,7	41,0	41,2	41,4	41,8	42,0	41,0
$U_{out} [V=]$	49,5	49,5	49,5	49,5	49,6	49,6	49,7	49,7	49,7	49,8	49,8	49,8	50,0
$I_{out} [mA]$	122,1	122,8	123,0	125,9	128,8	129,9	130,5	134,8	135,3	137,8	140,8	142,0	142,5
$P_o [W]$	7,66	7,73	8,02	8,31	8,60	8,79	8,91	9,06	9,19	9,32	9,49	9,62	9,43
$P [W]$	6,04	6,08	6,09	6,23	6,39	6,44	6,49	6,70	6,72	6,86	7,01	7,07	7,13
$\eta [\%]$	78,9	78,6	75,9	75,0	74,3	73,3	72,8	73,9	73,2	73,7	73,9	73,5	75,6

$U_{in} [V\sim]$	231	233	235	237	239	241	243	245	247	249	251	253	254
$I_{in} [mA]$	40,5	40,8	41,0	41,4	41,9	42,4	42,8	43,1	43,5	44,0	44,4	44,6	45,1
$U_{out} [V=]$	50,0	50,1	50,1	50,2	50,2	50,2	50,4	50,4	50,5	50,5	50,7	50,9	51,2
$I_{out} [mA]$	142,8	143,6	145,0	147,1	149,0	150,9	152,7	154,5	156,5	158,1	160,0	162,6	164,0
$P_o [W]$	9,36	9,51	9,64	9,81	10,01	10,22	10,40	10,56	10,74	10,96	11,14	11,28	11,46
$P [W]$	7,14	7,19	7,26	7,38	7,48	7,58	7,70	7,79	7,90	7,98	8,11	8,28	8,40
$\eta [\%]$	76,3	75,7	75,4	75,3	74,7	74,1	74,0	73,7	73,6	72,9	72,8	73,3	73,3

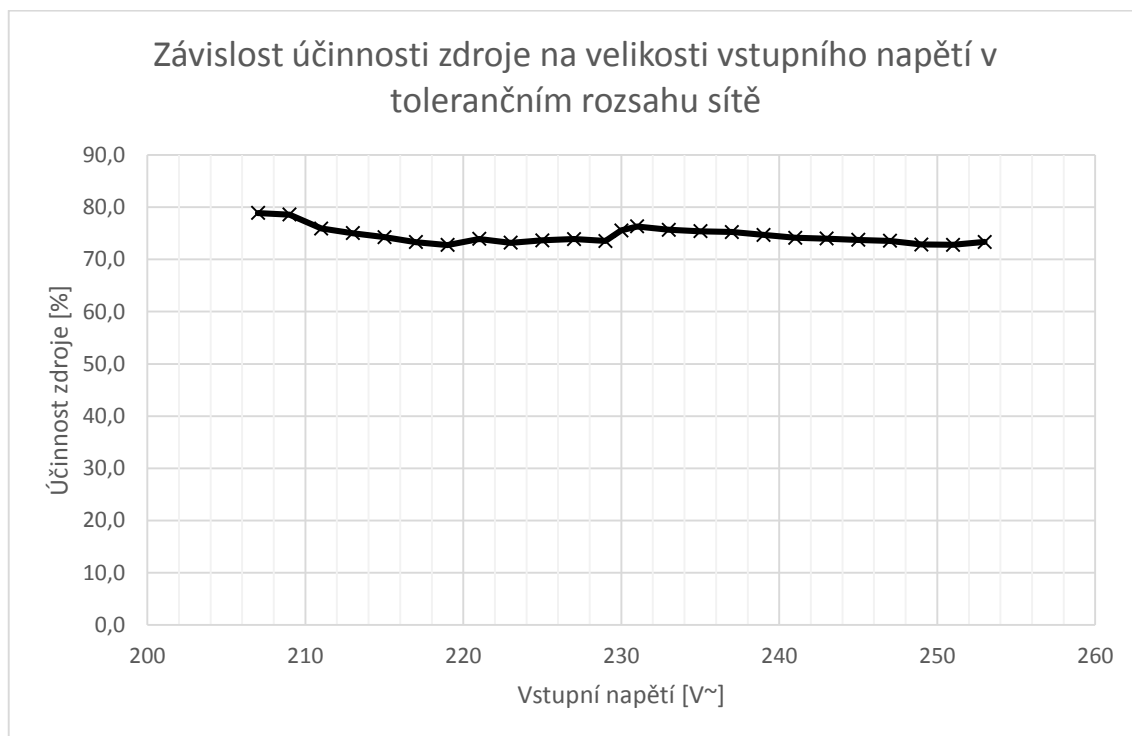
Naměřené hodnoty v grafických závislostech:



Obr.5.7: Graf $I_{out}(U_{in})$

Jak je z grafu patrné, výstupní proud je závislý na vstupním napětí. Toto je způsobeno tím, že obvodové prvky měniče byly navrhovány pro vstupní napětí 230V $\sim$. Je nutné si

uvědomit, že při vstupním napětí 254V_~ je hodnota usměrněného napětí 358V₌, což je o 24V více, než je počítáno v návrhu.



Obr. 5.8: Graf $\eta(U_{in})$

Příklad výpočtu pro první sloupec tabulky:

Příkon zdroje:

$$P_O = U_{IN} \cdot I_{IN} [W] \quad (17)$$

$$P_O = 207 \cdot 0,037 = 7,66 W$$

Výstupní výkon se určí podle (18):

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

$$P = 49,5 \cdot 0,122 = 6,04 W$$

Podle (19) se určí účinnost zdroje.

$$\eta = \frac{P}{P_O} \cdot 100 [\%] \quad (19)$$

$$\eta = \frac{6,04}{7,66} \cdot 100 = 78,9 \%$$

Účinnost zdroje je o asi 10% nižší, než uvádí literatura [5]. Toto může být způsobeno především použitými součástkami. Důležité jsou především stejnosměrný odpor cívky R_{DC} , odpor R_{D-S} tranzistoru a kvalita použitých kondenzátorů.

Výpočet celkového ztrátového výkonu v obvodu:

$$P_Z = I^2 \cdot (R_{D-S} + R_{DC} + R_{SENSE}) \quad (20)$$

$$P_Z = 0,14^2 \cdot (0,35 + 7 + 2,2) = 0,2W$$

Další vliv na výslednou účinnost mají kondenzátory, především jejich ekvivalentní sériový odpor.

Nabízí se srovnání s komerčně dostupnými zdroji v podobné výkonové relaci. Naleznete jej v tabulce níže.

Tabulka 10: Srovnání vlastností spínaných LED budičů

Výrobce	Mean Well	Aimtec	Výstup
Model	PLM-12-350	AMEPR10D-5020AZ	bakalářské práce
Vstupní napětí [V~]	90-264	90-264	230
Výstupní napětí [V=]	36	36-50	48
Výstupní proud [mA]	350	200	140
Jmenovitý výkon [W]	12	10	7
Účinnost [%]	85	79	75

Dle srovnání výsledné účinnosti se zkonstruovaný zdroj blíží komerčním výrobkům, rozdíl je 5-10%.

6 ZÁVĚR

Teoretická část práce se zabývá problematikou spínaných zdrojů, podrobně je rozebrána snižující topologie, která se velmi často využívá právě při buzení světelných diod, jejichž princip funkce je naznačen v další z kapitol teoretické části. Jelikož zkonstruované zařízení využívá síťového napětí, je nutný rozbor bezpečnostních pravidel. Lampa je navržena jako zařízení třídy II. Se spínanými zdroji úzce souvisí i problematika jejich elektromagnetické kompatibility (EMC), která je taktéž rozebrána v teoretickém úvodu.

Na základě srovnání jsem ze tří obvodů vybral nejvhodnější pro realizaci, a to Diodes incorporated AL9910A. Na základě výpočtů byly navrženy hodnoty obvodových prvků a byly vybrány součástky, které odpovídají daným požadavkům.

Zkonstruovaný výrobek nalezne uplatnění především v domácnostech, kdy může být využit jako stolní nebo čtecí lampa. LED představují perspektivní oblast v osvětlovací technice a lze počítat s jejich čím dál tím větší využívaností. I když navržený zdroj nedosahuje takové účinnosti, jako zdroje komerčně dostupné, lze ho bez problémů využívat.

Měřením byla ověřena účinnost a celková funkčnost navržené lampy. Nedostatky vidím v teplotním managementu, kdy kvůli integrované ochraně spínacího obvodu AL9910 proti přehřátí, „čas od času“ dochází k vypnutí zdroje. Tento nedostatek byl odstraněn pomocí odvodu tepla ze součástky pasivním chladičem.

Náklady na výrobu lampy jsou celkem asi 400Kč, což je srovnatelná cena s podobnými komerčně dostupnými zařízeními.

LITERATURA

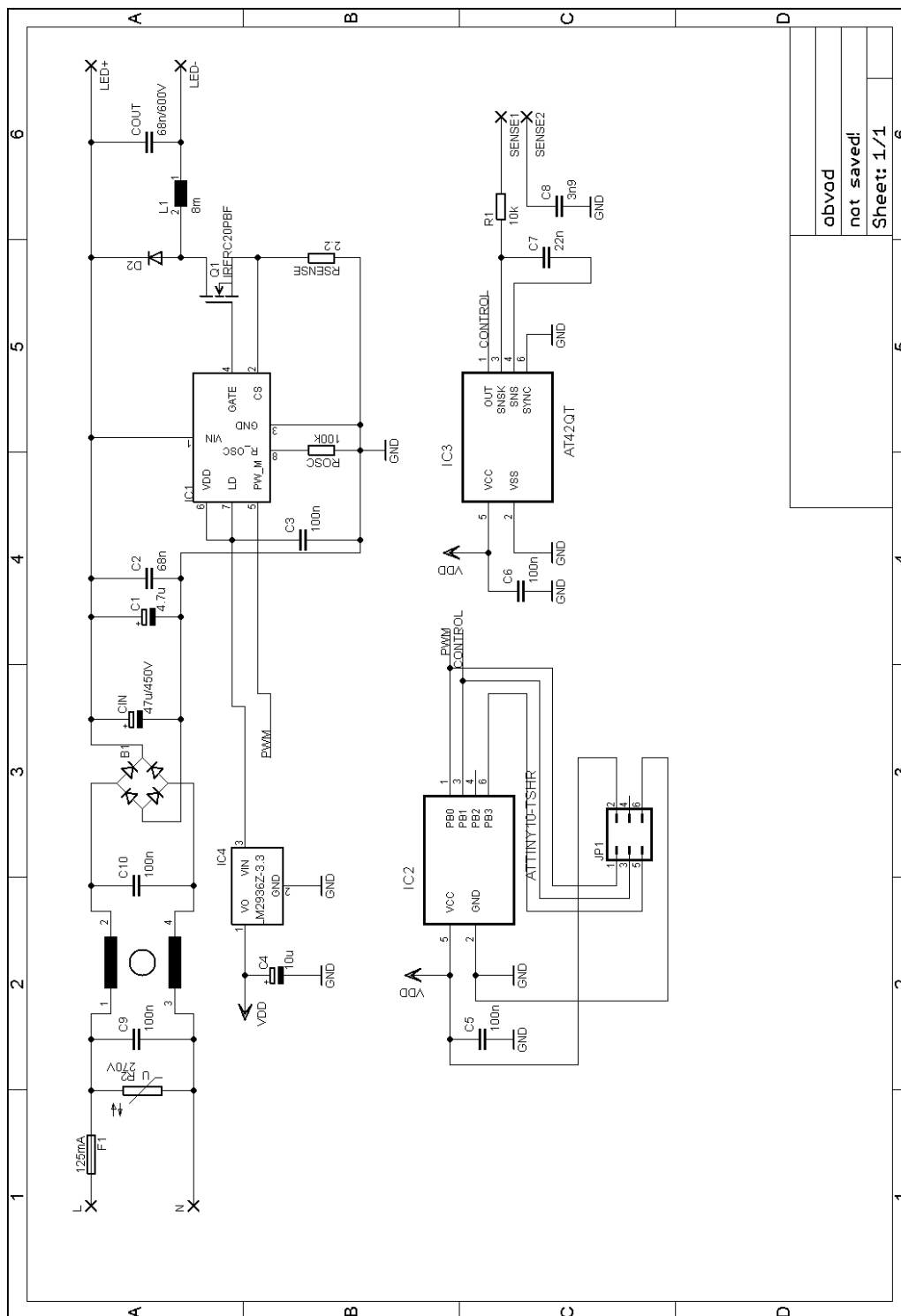
- [1] KUBÍČEK, Michal. *Přednáška BNEZ č.1* [online]. In: . s. 102 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/189642/mod_resource/content/3/BNEZ_01.pdf
- [2] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA M., *Napájení elektrických zařízení*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 1997.
- [3] KALÁB, Pavel a Miloslav STEINBAUER. *Bezpečná elektrotechnika*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, 2009. ISBN 978-80-214-3840-8
- [4] ZÁHLAVA, Vít. *Metodika návrhu plošných spojů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 8001021939.
- [5] *Katalogový list LED 2835 WHITE GT-M28351W550-0* [online]. Dostupné na [www: http://www.gme.cz/img/cache/doc/960/410/led-smd-2835-white-16000-120-datasheet-1.pdf](http://www.gme.cz/img/cache/doc/960/410/led-smd-2835-white-16000-120-datasheet-1.pdf)
- [6] *Fyzikální podstata přechodu PN* [online]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/265-fyzikalni-podstata-prechodu-pn>
- [7] *Polovodičové lasery a LED-ky* [online]. Dostupné z: <http://www.microdesignum.cz/clanky/Polovodicove-lasery-a-LED-ky.html>
- [8] *Katalogový list Microchip HV9922* [online]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/hv9922.pdf>
- [9] *Katalogový list POWER INTEGRATIONS LYT0006P* [online]. Dostupné na [www: http://www.farnell.com/datasheets/1910662.pdf](http://www.farnell.com/datasheets/1910662.pdf)
- [10] *Katalogový list AL9910* [online]. Dostupné z: http://www.diodes.com/_files/datasheets/AL9910_A.pdf
- [11] *Katalogový list IPD50R380CE* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IPD50R380CE-DS-v02_01-en.pdf?fileId=db3a30433ecb86d4013ed0a2ef580f38
- [12] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility [i.e. compatibility]: přednášky*. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2005. ISBN 80-214-2864-3.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

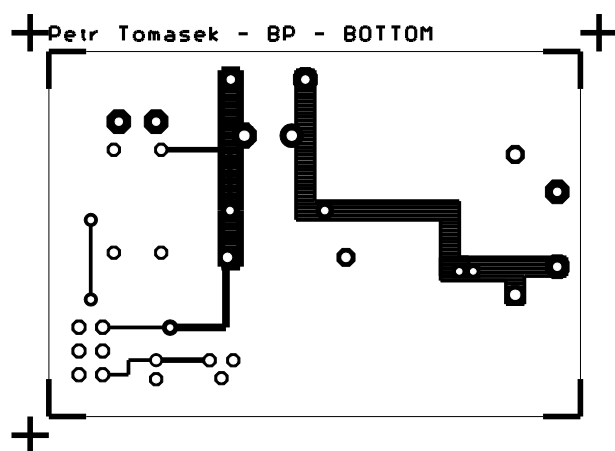
U_1	vstupní napětí
U_2	výstupní napětí
s,D	střída spínání (=duty cycle)
i_L	proud procházející cívkou
u_L	napětí na cívce
L	velikost indukčnosti
f_{osc}	spínací frekvence měniče
T	spínací perioda měniče
ΔU_{2MAX}	maximální zvlnění napětí na výstupu
i_{cmax}	maximální proud kolektorem spínacího tranzistoru
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
ΔI	zvlnění proudu
PWM	pulse-width modulation, pulsně šířková modulace
LED	light emitting diode
U_F	propustné napětí diody
LDO	low dropout regulator, stabilizátor napětí
OTP	overheat thermal protection, ochrana proti přehřátí
CS	current sense, svorka pro snímání proudu

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení

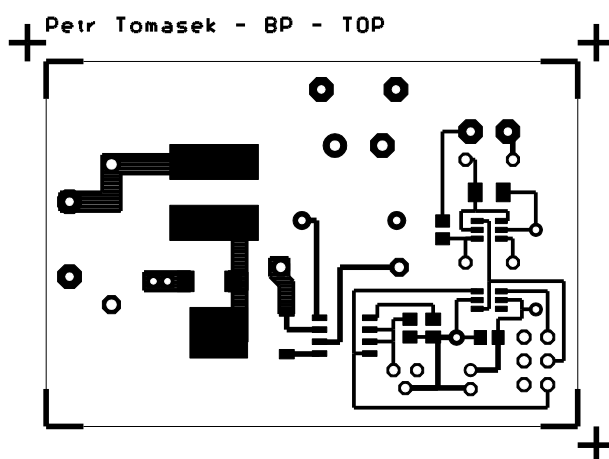


A.2 Deska plošného spoje – zdroj (bottom)



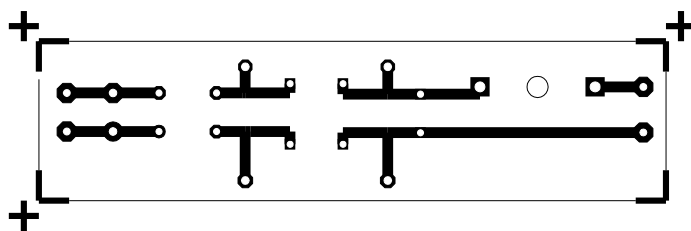
Rozměr desky 57 x 39 [mm], měřítko M1:1

A.3 Deska plošného spoje – zdroj (top)

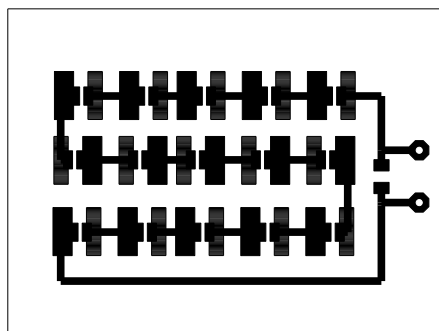


Rozměr desky 57 x 39 [mm], měřítko M1:1

A.4 Deska plošného spoje – desky vstupních obvodů a LED řetězce

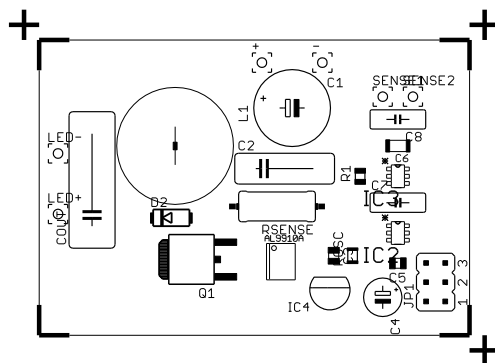
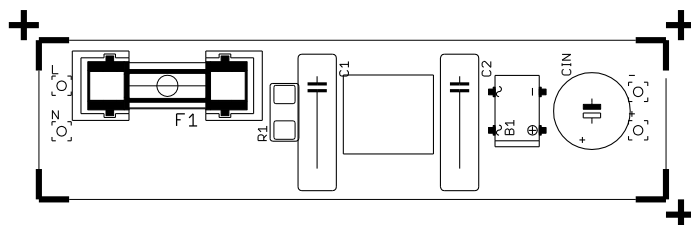


Rozměr desky 83 x 12 [mm], měřítko M1:1



Rozměr desky 58 x 38 [mm], Měřítko M1:1

A.5 Osazovací plány



B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro	Popis
Vstupní obvod				
B1		RECTIFIER-DIL	B-DIL	Usměrňovací můstek
C1	100n	C-EU150-054X183	C150-054X183	fóliový kondenzátor
C2	100n	C-EU150-054X183	C150-054X183	fóliový kondenzátor
CIN	47u/450V	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
F1	125mA	GSH15	GSH15	Pojistka
R1	270V	S2220	S2220	Varistor
L1	2x10mH	IND	CIVKA	Proudově kompenzovaná tlumivka
Obvod zdroje				
C1	47u	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
C2	68n	C-EU102-043X133	C102-043X133	Keramický kondenzátor
C3	100n	C-EUC0805	C0805	Keramický kondenzátor
C4	10u	CPOL-EUE2-5	E2-5	Elektrolytický kondenzátor
C5	100n	C-EUC0805	C0805	Keramický kondenzátor
C6	100n	C-EUC1206K	C1206K	Keramický kondenzátor
C7	22n	C-EU050-025X075	C050-025X075	Keramický kondenzátor
C8	3n9	C-EU050-025X075	C050-025X075	Keramický kondenzátor
COU1	68n/600V	C-EU150-064X183	C150-064X183	Keramický kondenzátor
D2		DIODE-DO214AA	DO214AA	Hlavní usměrňovací dioda
IC1	AL9910A	AL9910A	AL99110ASOP8	Integrovaný řídicí obvod
IC2	ATTINY10	ATTINY10-TSHR	SOT95P280X145-6N	Mikrokontrolér AVR ATtiny10
IC3	AT42QT	AT42QT1010	SOT95P280X145-6N	Řídicí obvod kapacitního snímače
IC4	LM2936Z-3.3	LM2936Z-3.3	TO92	Stabilizátor napětí 3,3V
JP1		JP3Q	JP3Q	Pinová lišta 2 x 3
L1	4,7m	WE-ASI-744776381_M	WE-ASI_M	Tlumivka
Q1	IRFRC20PBF	IRF840	TO252	N-kanálový MOSFET tranzistor
R1	10k	R-EU_R0805	R0805	rezistor
ROSC	100k	R-EU_M0805	M0805	rezistor
RSENSE	2R2	R-EU_0411/12	0411/12	rezistor
LED řetězec				
LED 1-15		GT-M28351W550-0	2835	světelná dioda, 15ks

C KÓD PROGRAMU

```
#define F_CPU 1000000UL
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
volatile int x=2;
ISR(PCINT0_vect)
{x++;}

// enable all interrupts

int main(void)
{
    PCMSK |= (1<<PCINT1); // pin change mask: listen to portb bit 2
    PCICR |= (1<<PCIE0); // enable PCINT interrupt

    DDRB=0b00000001;
    sei();

    /* Replace with your application code */
    while (1)
    {
        switch(x)
        {
            case 10:
                x=0;
                break;
            case 8:
                PINB|=(1<<PINB0);
                _delay_us(990);
                PINB|=(0<<PINB0);
                _delay_us(10);
                break;
            case 6:
                PINB|=(1<<PINB0);
                _delay_us(750);
                PINB|=(0<<PINB0);
                _delay_us(250);
                break;
            case 4:
                PINB|=(1<<PINB0);
                _delay_us(500);
                PINB|=(0<<PINB0);
                _delay_us(500);
                break;
            case 2:
                PINB|=(1<<PINB0);
                _delay_us(250);
                PINB|=(0<<PINB0);
                _delay_us(750);
                break;
            case 0:
                PINB|=(0<<PINB0);
                break;
        }
    }
}
```

D ELEKTRONICKÁ VERZE PRÁCE