

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

MĚNIČE PRO SVÍTIDLA S LED DIODAMI

INVERTERS FOR LIGHTING UNITS WITH LEDS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

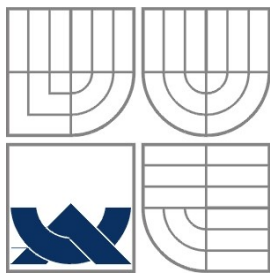
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

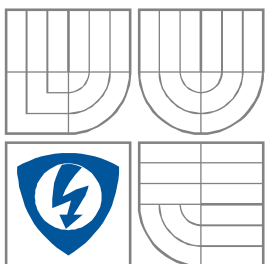
Bc. ZALÁN ZUBER

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLÓGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

MĚNIČE PRO SVÍTIDLA S LED DIODAMI

INVERTERS FOR LIGHTING UNITS WITH LEDS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

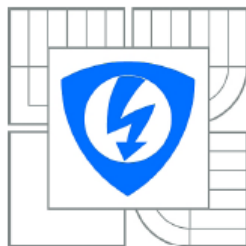
Bc. ZALÁN ZUBER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KLÍMA, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Bc. Zalán Zuber

ID: 83097

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Měniče pro svítidla s LED diodami

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Realizujte zvolené typy měničů s LED diodami dle předchozího semestrálního projektu.
2. Oživte měniče.
3. Provedte měření účinnosti a vyhodnoťte výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího

Termín zadání: 1.10.2009

Termín odevzdání: 20.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Bohumil Klíma, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Táto diplomová práca sa zaoberá s meničmi pre výkonové LED diódy. Dáva osvetu do oblasti LED svietení, analyzuje jednotlivé typy meničov, ukáže princípy ich funkčnosti. Ďalej navrhuje možné zapojenia pre tri rôzne napät'ové úrovne a výpočty jednotlivých prvkov. Obsahuje výsledky meraní navrhnutých meničov a vyhodnocuje merania.

Abstract

The master's thesis deals with DC/DC converters for power LED diodes. Gives an overview of the field of LED lighting technology, analyzes various types of converters and shows their principle of operation. Furthermore presents some possible circuit designs for three different voltage levels and the calculations for each part. As an approval of their functionality the results of their measurements are plotted followed by the data evaluation.

Kľúčové slová

LED dióda; znižovací menič; zvyšovací menič; účinnosť; svetelnosť; MOSFET; tlmivka; kondenzátor; stabilizátor; spätná väzba; bočník; prúd; napätie

Keywords

LED; buck converter; boost converter; efficiency; luminosity; MOSFET; inductor; capacitor, limiter; feedback; current sense resistor; current; voltage

Bibliografická citácia

ZUBER, Z. *Měniče pro svítidla s LED diodami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 48 str.

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému „*MĚNIČE PRO SVÍTIDLA S LED DIODAMI*“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, predovšetkým som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa

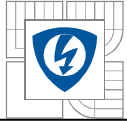
Podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce, Ing. BOHUMILOVI KLÍMOVI, Ph.D., za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri vypracovaní diplomovej práce.

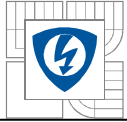
V Brne dňa

Podpis autora



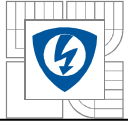
OBSAH

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA	5
PREHLÁSENIE.....	6
1 ÚVOD.....	11
2 LED DIÓDY.....	12
2.1 POWER LED.....	12
2.2 SVETELNÉ SPEKTRUM A TEPLOTA SVETLA.....	13
2.3 LED AKO ZÁŤAŽ	15
2.4 UMELÁ ZÁŤAŽ, AKO NÁHRADA LED DIÓDY	15
3 PRÚDOVÉ ZDROJE.....	16
3.1 PASÍVNY PRÚDOVÝ ZDROJ	16
3.2 AKTÍVNY PRÚDOVÝ ZDROJ	18
4 SPÍNANÉ ZDROJE.....	22
4.1 ROZDELENIE SPÍNANÝCH ZDROJOV.....	22
4.2 SPÍNACIA FREKVENCIA	23
4.3 MENIČ NA 230V.....	23
4.4 MENIČ NA 12V	30
4.4.1 MERANIE NA MENIČI	33
4.5 MENIČ NA 1,2V	37
4.5.1 MERANIE NA MENIČI	42
5 ZÁVER.....	44
LITERATÚRA	45
PŘÍLOHY	46



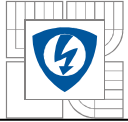
ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obrázok 1:Konštrukcia Luxeon Power LED</i>	<i>12</i>
<i>Obrázok 2.:Porovnanie spektra žiarovky a Power LED</i>	<i>13</i>
<i>Obrázok 3:Studená biela (Cool white)</i>	<i>13</i>
<i>Obrázok 4:Neutrálna biela (Neutral white).....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázok 5: Teplá biela (Warm white)</i>	<i>14</i>
<i>Obrázok 7:Porovnanie rôznych farebných teplôt</i>	<i>15</i>
<i>Obrázok 8: V-A charakteristika výkonovej LED diódy LUXEON</i>	<i>16</i>
<i>Obrázok 9: Bloková schéma zapojenia aktívneho prúdového zdroja.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázok 10: LM317 ako prúdový zdroj.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázok 10: Závislosť účinnosti na napájacom napätí.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázok 12: Charakteristika veľkosti tlmivky, účinnosti a zvlnenia napätia v závislosti na spínacej frekvencii</i>	<i>23</i>
<i>Obrázok 13: Priepravný menič – základné zapojenie.....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázok 14: Priepravný menič – funkčné stavy</i>	<i>24</i>
<i>Obrázok 15: Bloková schéma HV9910.....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázok 16: Vnútorne zapojenie NCP3065.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázok 17: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí pri $I_{led1} = 350mA$.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázok 18: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí pri $I_{led2} = 700mA$.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázok 19: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí pri $I_{led3} = 1000mA$.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázok 20: Zvyšujúci menič – základné zapojenie.....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázok 21: Zvyšujúci menič – funkčné stavy</i>	<i>38</i>
<i>Obrázok 22: Vnútorne zapojenie LTC3490</i>	<i>39</i>
<i>Obrázok 23: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí</i>	<i>43</i>



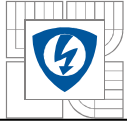
ZOZNAM TABULIEK

<i>Tabuľka 1: Porovnanie jednotlivých zdrojov svetla</i>	<i>12</i>
<i>Tabuľka 2: Tabuľka nameraných hodnôt pre stabilizátor s LM371</i>	<i>20</i>
<i>Tabuľka 3: Tabuľka nameraných hodnôt pre výstupný prúd 350mA.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabuľka 4: Tabuľka nameraných hodnôt pre výstupný prúd 700mA.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabuľka 5: Tabuľka nameraných hodnôt pre výstupný prúd 1000mA.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabuľka 6: Tabuľka nameraných hodnôt pre menič 1,2V.....</i>	<i>42</i>



ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

LED	Light emitting diode
OLED	Organic light emitting diode
ESR	Equivalent series resistance
CTT	Correlated Color Temperature
DC	Direct current
AC	Alternating current
DPS	Deska plošných spojov



1 ÚVOD

Použitelnosť výkonových LED je v dnešnej dobe na takej úrovni, že spoľahlivo môžu konkurovať s inými svetelnými zdrojmi. Uplatnenie našli v každej oblasti osvetľovacej techniky od ručných svietidiel až po scénické osvetlenie. S LED osvetlením sú riešiteľné také špeciálne nároky, ako stmievanie alebo blikanie.

LED aplikácie v oblasti osvetľovacej techniky vynikajú hlavne svojou účinnosťou. V súčasnosti pripadá približne 19% svetovej spotreby elektriny na osvetlenie. Od budúcich zdrojov svetla sa očakáva zníženie energetickej náročnosti. Najpravdepodobnejšou technológiou sú LED diódy, ktoré prinášajú až 80% úsporu energie oproti klasickým žiarovkám. Zároveň dosahujú aj päťdesiatnásobne dlhšou životnosťou. Kým žiarovky majú svetelný tok približne 15 lumenov na watt, úsporné žiarovky 50-60lm/W, najnovšie prototypy LED dosahujú až 130-150 lumenov na watt.

Takýchto parametrov dosiahli výskumníci kombináciou celej rady technológií. Na posilnenie jasnosti použili vylepšený epitaxiálny proces, pri ktorom sa nanáša tenký film látky vyžarujúce svetlo na polovodičovú podložku. Zlepšili aj dizajn čipov. V neposlednej rade optimalizovali kombináciu modrého svetla vyžarovaného samotným čipom a žltého svetla z fosforu nad ním, ktoré potom spoločne vytvárajú biele svetlo. Výskumníci spoločnosti Osram nedávno uspeli v zlepšení robustnosti a svietivosti organických LED (OLED). Tieto ultratenké plastové filmy s vysokou jasnosťou a nízkou spotrebou energie majú účinnosť 46 lumenov na watt a životnosť presahujúcu 5000hodín.

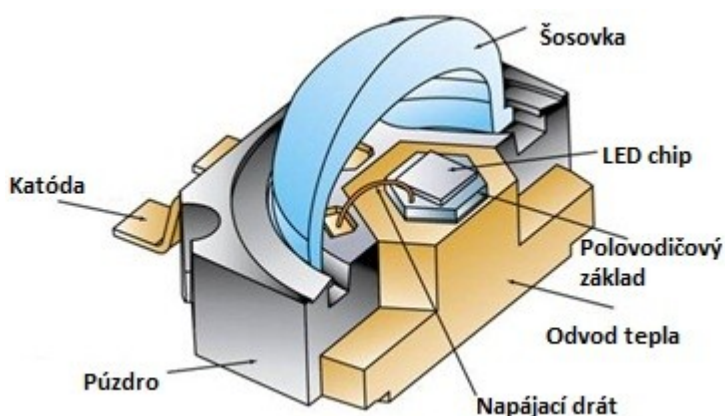
Z pohľadu efektívneho využitia LED je zásadné mať presný prúdový zdroj na napájanie. Staršie typy LED, ktoré vyžadujú napájací prúd do 20mA nepotrebujú zvláštny napájací zdroj alebo menič. V dnešnej dobe sa už vyrábajú výkonové LED diódy s menovitým prúdom 100mA, 350mA, 700mA a viac. Niektorí výrobcovia dodávajú aj LED čipy s menovitým výkonom až 100W. Pri použití nesprávneho napájania tieto LED moduly sa môžu zničiť veľmi rýchlo. Preto treba zabezpečiť presný napájací prúd. V niektorých prípadoch môže byť použitý lineárny regulátor, ale kde je potreba dosiahnuť vyššej účinnosti musíme použiť spínaný napájací zdroj.

2 LED DIÓDY

LED, svetlo vyžarujúca dióda alebo elektroluminiscenčná dióda je polovodičová súčiastka obsahujúca prechod P-N. Využíva takzvaný elektroluminiscenčný jav, pri ktorom dochádza k premene elektrickej energie na svetlo pri prechode prúdu vhodným materiálom. Pásmo spektra žiarenia LED je závislé na chemickom zložení použitého polovodiča. Z princípu LED vyplýva, že nedokáže priamo emitovať biele svetlo ale využíva luminofóry. Niektoré biele LED emitujú modré svetlo, časť tohto svetla je priamo na čipe transformované na žlté svetlo a miešaním modrého a žltého svetla vzniká biele. Iné typy emitujú ultrafialové žiarenie a ktoré je na čipe transformované na biele svetlo.

2.1 Power LED

Veľkým skokom bolo objavenie výkonových LED. Tieto špeciálne typy majú vyšší jas oproti klasickým LED, ale majú aj väčšie tepelné straty. Kvôli chladeniu sú vybavené chladičmi a obsahujú špeciálne šošovky aby správne smerovali svetlo. Power LED vyrábajú s výkonom 1 až 100W.



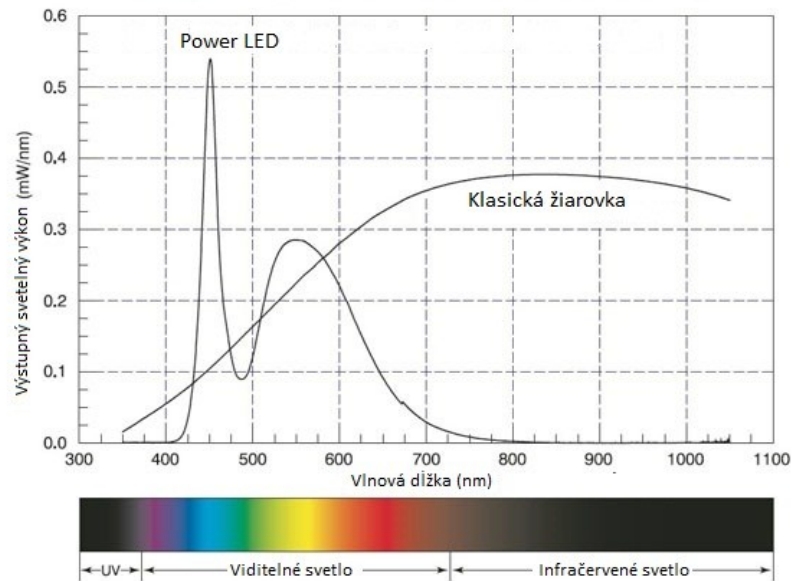
Obrázok 1: Konštrukcia Luxeon Power LED[8]

Zdroj svetla	Efektivita	Priemerná životnosť
-	lm/W	hodín
Klasická žiarovka	5-20	750-1000
Halogénová žiarovka	15-25	2000-4000
Žiarivka	20-55	10000
Ortuťová výbojka	25-50	do 24000
Metalhalogenová výbojka	45-100	10000-20000
Vysokotlaková sodíková výbojka	45-110	do 24000
POWER LED	40-130	50000-100000

Tabuľka 1: Porovnanie jednotlivých zdrojov svetla

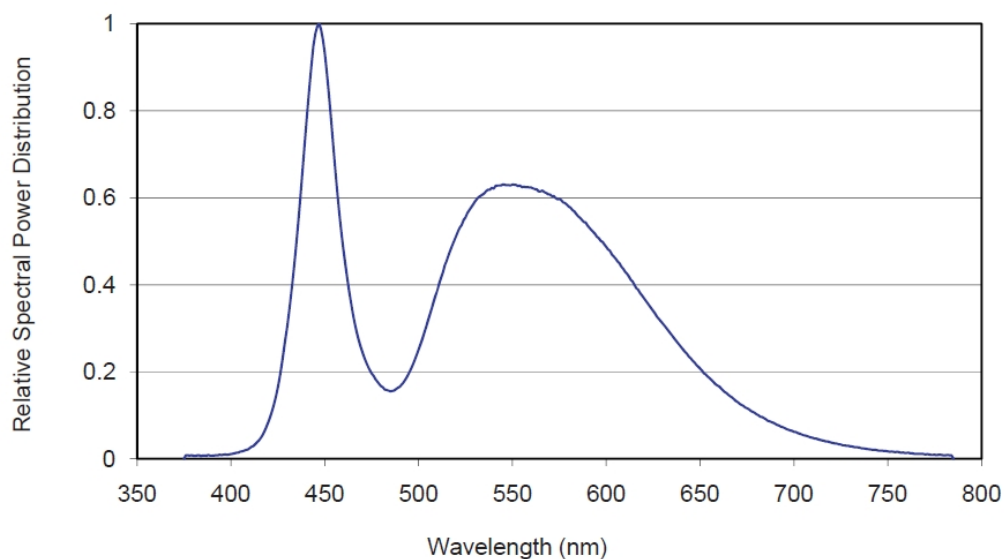
2.2 Svetelné spektrum a teplota svetla

Svetelné spektrum LED sa trošku líši od spektra žiarovky. V závislosti na použítom čipe sa môže toto spektrum meniť, ale obecné platí, že LED diódy majú spektrum a výraznejšou modrou a žltou farbou a slabšou zelenou. LED čipy emitujú svetelné spektrum s vysokým obsahom žiarenia v modrej oblasti, preto sa tieto čipy pokrývajú ochrannou optickou vrstvou žltej farby, ktorá posúva spektrum smerom k väčším vlnovým dĺžkam. Svetlo má potom nižšiu svetelnú teplotu a je príjemnejšie pre ľudské oko.

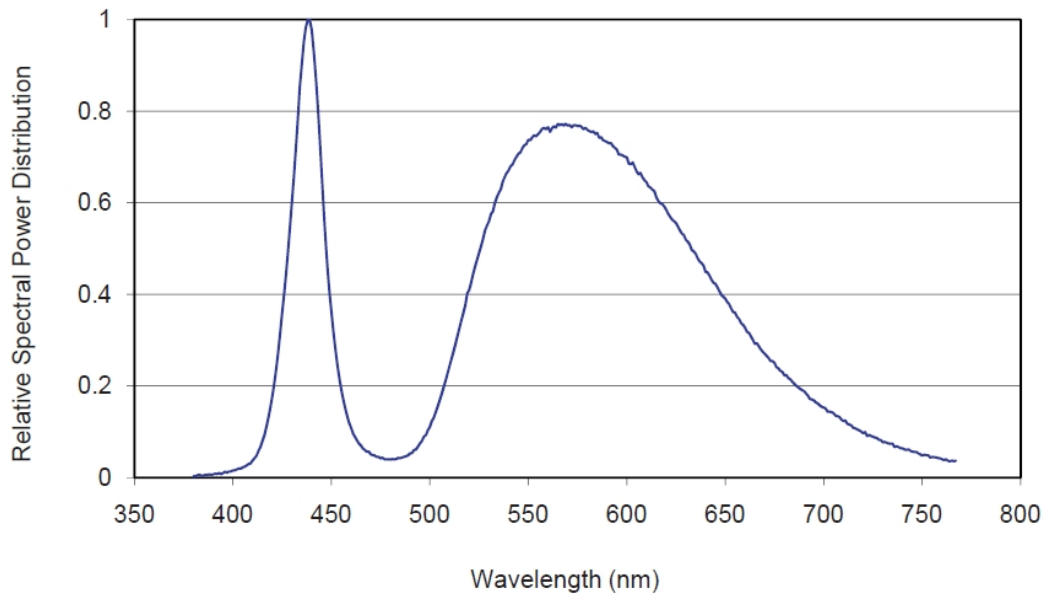


Obrázok 2.: Porovnanie spektra žiarovky a Power LED

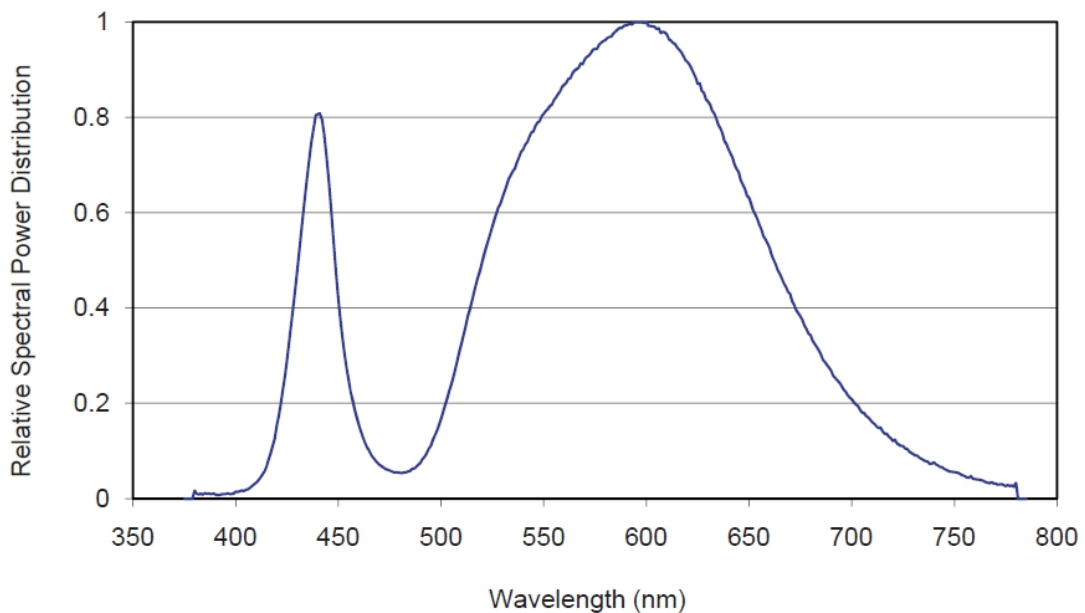
Pre porovnanie uvádzam jednotlivé spektrálne charakteristiky LED diódy LUXEON REBEL.



Obrázok 3.: Studená biela (Cool white)[9]

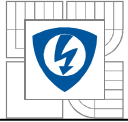


Obrázok 4: Neutrálna biela (Neutral white) [9]



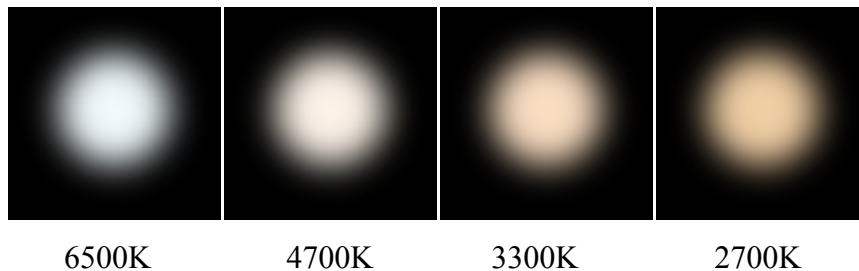
Obrázok 5: Teplá biela (Warm white) [9]

LED diódy môžeme rozlišovať podľa vlnovej dĺžky vyžiareného svetla, ale biele svetlo charakterizujeme teplotou svetla v Kelvinoch. U klasickej žiarovky vzniká svetlo z rozžhaveného vlákna, teda teplota svetla súhlasí s teplotou vlákna. U žiaroviek a LED svietidiel fyzická súvislosť nie je, preto hovoríme o CTT (Correlated Color Temperature) farbe svetla. Klasická žiarovka má teplotu svetla okolo 2800°K, čo je trochu nižšia hodnota, ako má slnečné svetlo



(4200-4500°K). Hodnotu okolo 5500-7500°K nazývame studené biele svetlo a hodnotu okolo 3000°K, teda podobnú žiarovke, teplé biele svetlo.

Svietidlá s vyššou farebnou teplotou (studená biela) pôsobí na ľudský organizmus stimulantne, povzbudzuje výkon a motiváciu. Vzhľadom k tomu, že ľahko sa kombinujú s denným svetlom, sú ideálnou voľbou do kancelárie, ale aj do domácich pracovni a izby s počítačom. Tiež sú vhodné pre priestory, ktoré sa využívajú pre čítanie a písanie, lebo povzbudzujú a pomôžu zahnať únavu. Studené svetlo ale môže rušiť pri odpočinku alebo relaxácii, preto nie je najlepšou voľbou pre obývačky a spálne. Tam sú vhodnejšie neutrálne alebo teplejšie odtiene



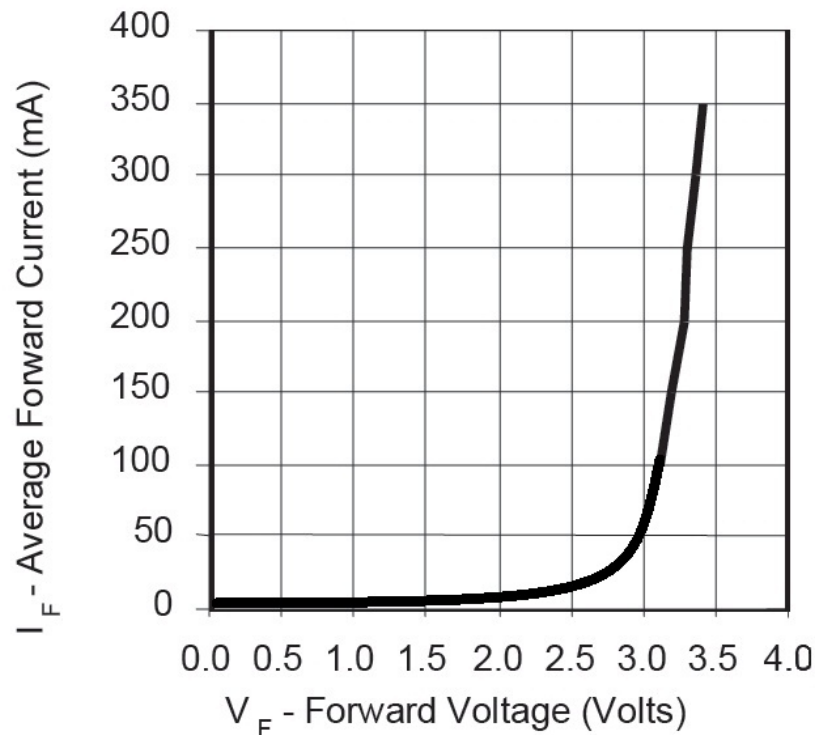
Obrázok 6: Porovnanie rôznych farebných teplôt

2.3 LED ako záťaž

LED sa chová podobne ako Zenerova dióda, teda ako záťaž s konštantným napätím a nízkym ekvivalentným sériovým odporom (ďalej ESR). Napájať záťaž s konštantným napätím z napäťového zdroja je veľmi ťažké, lebo celkové napájacie napätie sa zráža na ESR, ktorý má veľmi nízku hodnotu takže úbytok napätia bude tiež nízky. Mierne kolísanie napätia, alebo záťaže spôsobí veľké zmeny prúdu v obvode. Napäťový pokles na LED závisí na farbe svetla. Červené LED diódy potrebujú nižšie napätie, modré a biele vyššie. Ako každá elektronická súčiastka, aj LED diódy majú ekvivalentný sériový odpor. U LED o výkone 1W s menovitým prúdom 350mA je to asi 1-2Ω v závislosti na použitých polovodičových materiáloch.

2.4 Umelá záťaž, ako náhrada LED diódy

Ako umelú záťaž môžeme použiť Zenerovu diódu. Tieto diódy v závernom smere majú veľmi podobnú V-A charakteristiku, ako výkonové LED diódy. Pri oživení a testovaní meničov som použil Zenerove diódy 1N5335B a 1N5342B.



Obrázok 7: V-A charakteristika výkonovej LED diódy LUXEON[10]

3 PRÚDOVÉ ZDROJE

3.1 Pasívny prúdový zdroj

Aby diódy LED mohli pracovať efektívne je podstatné zabezpečiť ich konštantný pracovný prúd. Preto pri riadení LED diód používame prúdové zdroje.

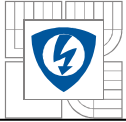
Najjednoduchším prúdovým zdrojom je odpor zapojený do série s LED.

Ako príklad si vezmeme napájacie napätie 12V a napät'ové kolísanie 20%, čo je bežné v automobilovom priemysle. LED si vyberieme LUXEON STAR WHITE s výkonom 1W a menovitým prúdom 350mA. Podľa dátového listu napätie na LED bude 3,42V, ale môže sa meniť v rozsahu od 2,79V do 3,99V, a ESR má 1Ω. Potrebný predradný odpor bude:

$$R_{ext} = \frac{U_{in} - U_z}{I_z}$$
$$R_{ext} = \frac{12 - 3,42}{0,35} = 24,5\Omega$$

Tepelné straty na odpore:

$$P_R = R_{ext} \cdot I_z^2$$
$$P_R = 24,5 \cdot 0,35^2 = 3W$$



Keď poznáme kolísanie napájacieho napätia a napätia zát'aže tak sme schopný vypočítať rozdiely v prúde.

$$I_{min} = \frac{U_{inmin} - U_{zmax}}{R_{ext}}$$

$$I_{max} = \frac{U_{inmax} - U_{zmin}}{R_{ext}}$$

Kde U_{inmin} a U_{inmax} je minimálna a maximálna hodnota napájacieho napätia. U_{zmin} a U_{zmax} je napät'ové kolísanie na zát'aži napríklad pri zohrievaní (väčšinou okolo 5%).

Prúd teda bude:

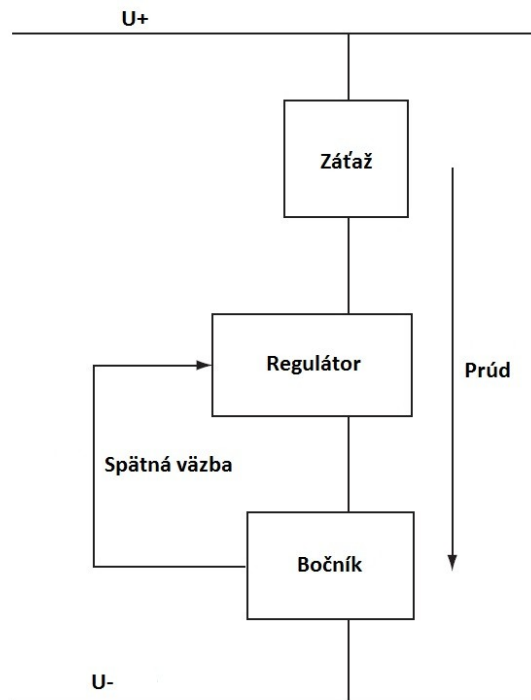
$$I_{min} = \frac{9,6 - 3,99}{24,5} = 229mA$$

$$I_{max} = \frac{14,4 - 2,79}{24,5} = 474mA$$

Ako vidíme, pracovný prúd môže kolísat' až $\pm 35\%$ oproti menovitej hodnote a na rezistore vznikajú veľké tepelné straty.

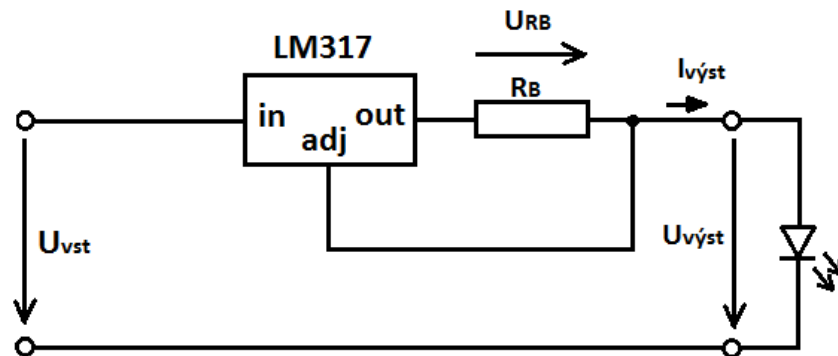
3.2 Aktivny prúdový zdroj

Aktivny prúdový zdroj obsahuje tri hlavné prvky: obmedzovač prúdu (regulátor), snímač prúdu (väčšinou bočník) a spätnú väzbu.

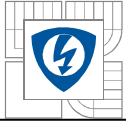


Obrázok 8: Bloková schéma zapojenia aktívneho prúdového zdroja

Jednoduchý prúdový zdroj sa dá realizovať pomocou obvodu LM317. Tento obvod má nastavené referenčné napätie na 1,25V. Jeho zapojenie vidíme na obrázku:



Obrázok 9: LM317 ako prúdový zdroj



Pre porovnanie účinnosti lineárneho regulátora a spínaného zdroja som pripravil meranie na obvode LM317T. Schéma zapojenia je na obrázku 8. Na vstup a výstup bol zapojený univerzálny merací prístroj Yokogawa, ktorý zapisoval namerané hodnoty do počítača. Meranie som uskutočnil v rozsahu od 7V do 16V. Ako záťaž bola použitá LED dióda: LED STAR WHITE 60LM/120 LAMBERTIAN WHITE od firmy Hebei I.T. Co.

Zadané hodnoty:

$$U_{vst} = 7-16V - \text{napájacie napätie}$$

$$I_{led} = 350mA$$

Výpočet hodnoty bočníka

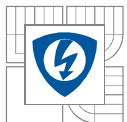
$$R_B = \frac{U_{ref}}{I_{led}}$$

$$R_{21} = \frac{1,25}{0,35} = 3,57\Omega$$

$$P_{R21} = R_B \cdot I_{led}^2$$

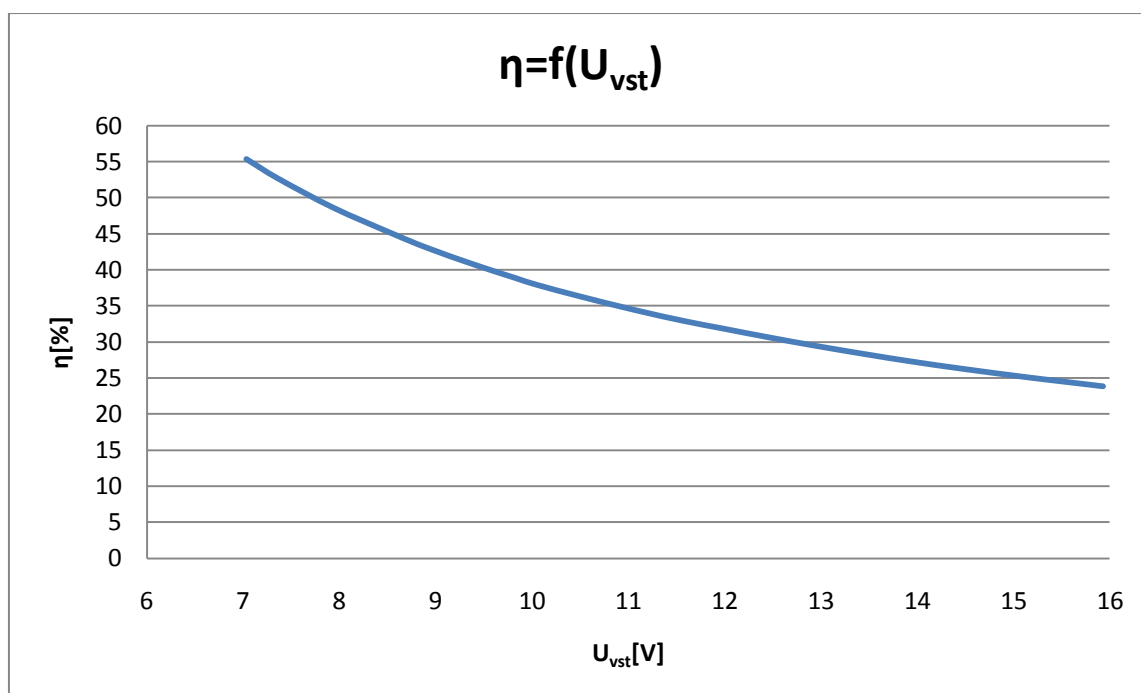
$$P_{R21} = 3,57 \cdot 0,35^2 = 0,437W$$

Použil som bočník s hodnotou odporu 3,7Ω.

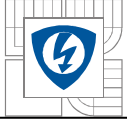


	Vstupné hodnoty			Výstupné hodnoty			Účinnosť
	U [V]	I[A]	P[W]	U[V]	I[A]	P[W]	[%]
1	7,035	0,339	2,384	3,893	0,339	1,319	55,33
2	7,365	0,339	2,495	3,876	0,339	1,313	52,63
3	7,941	0,339	2,689	3,857	0,339	1,306	48,58
4	8,543	0,339	2,893	3,849	0,339	1,304	45,06
5	8,915	0,339	3,019	3,837	0,339	1,299	43,03
6	9,407	0,339	3,186	3,828	0,339	1,297	40,70
7	9,827	0,339	3,328	3,822	0,339	1,294	38,88
8	10,040	0,339	3,400	3,813	0,339	1,291	37,97
9	10,525	0,339	3,564	3,815	0,339	1,291	36,24
10	11,096	0,339	3,757	3,812	0,339	1,291	34,36
11	11,582	0,339	3,922	3,812	0,339	1,291	32,92
12	11,965	0,339	4,051	3,819	0,339	1,294	31,93
13	12,465	0,339	4,222	3,818	0,339	1,294	30,65
14	12,973	0,339	4,394	3,817	0,339	1,293	29,43
15	13,484	0,339	4,566	3,813	0,339	1,292	28,29
16	13,913	0,339	4,712	3,807	0,339	1,290	27,38
17	14,467	0,339	4,901	3,806	0,339	1,290	26,32
18	15,139	0,339	5,129	3,807	0,339	1,290	25,15
19	15,547	0,339	5,267	3,807	0,339	1,291	24,50
20	15,932	0,339	5,398	3,806	0,339	1,290	23,89

Tabuľka 2: Tabuľka nameraných hodnôt pre stabilizátor s LM371

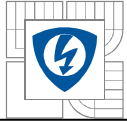


Obrázok 10: Závislosť účinnosti na napájacom napätí



Vyhodnotenie merania:

Ako z tabuľky vidíme, že zvyšovaním napätia, účinnosť rapídne klesá. Na začiatku sme zaznamenali účinnosť viac než 55%, ale pri najvyššej hodnote napájacieho napätia už bola len 24%. Pri napájacom napätí 16V sa na LM317 zráža výkon 4,1W, to vyžaduje veľkú chladiacu plochu. Počas celého merania výstupný prúd bol na hodnote 0,339A. To svedčí o stabilite obvodu. Na výstupe som zaznamenal jemný pokles výstupného výkonu a zvýšenie napätia. Môže za to zvýšenie ESR z dôvodu otepľovania LED diódy. Tento spôsob regulácie by som odporučil použiť v aplikáciách, kde účinnosť nie je podstatnou záležitosťou a vznikajúce teplo môžeme ľahko odvodiť.



4 SPÍNANÉ ZDROJE

Úkolom DC/DC meničov je prevedenie jedného jednosmerného napätia na iné jednosmerné napätie. Nové napätie pritom môže byť vyššie, nižšie, invertované alebo izolované od vstupného jednosmerného napätia. Podľa toho existuje viac základných zapojení o ktorých budeme hovoriť.

4.1 Rozdelenie spínaných zdrojov

Jednoznačne rozdeliť spínané zdroje nie je ľahkou úlohou, lebo niektoré používané princípy sa kombinujú, teda jeden spínaný zdroj môže obsahovať viac použitých princíпов. Napriek tomu je možno zostaviť nasledujúce delenie:

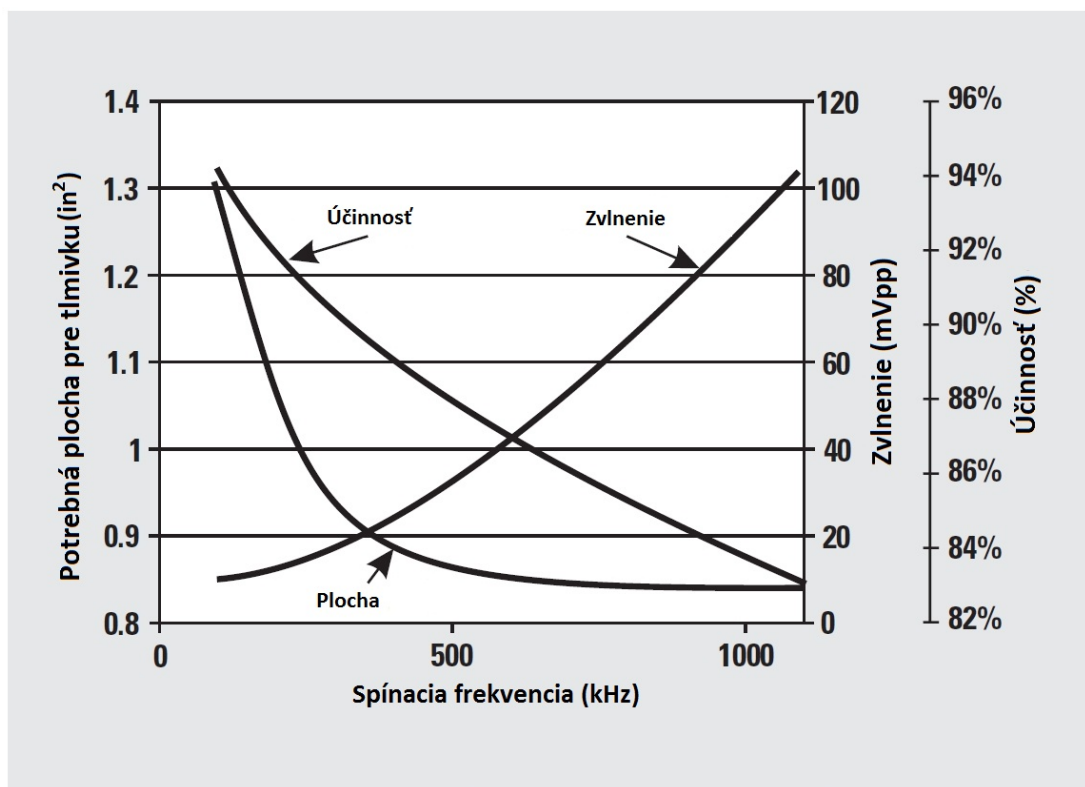
- a) Podľa veľkosti spínacieho kmitočtu
 - Zdroje s kmitočtom siete
 - Zdroje s kmitočtom vyšším než sieťovým
- b) Podľa toho, či v zapojení je použitá cievka
 - Zdroje s indukčnosťou (cievka s feritovým jadrom alebo transformátor)
 - Zdroje bez indukčnosti (obsahujú násobiče napätia)
- c) Podľa zrovnania výstupného napätia s vstupným
 - Obvody pre zníženie napätia (step-down convertor)
 - Obvody pre zvýšenie napätia (step-up convertor)
 - Invertory (Inverters)
- d) Podľa spôsobu prenosu energie zo vstupu na výstup
 - Zdroje s priepustným zapojením (Forward)
 - Zdroje s akumulujúcim zapojením (Flyback)
 - Zdroje s dvojčinným zapojením (Push-pull)
 - Zdroje s mostíkovým zapojením (tzv. polomost alebo plný most)

Poznamenajme, že väčšina spínaných zdrojov riadi tok energie zmenou striedy obdĺžnikového riadiaceho signálu spínače. Ide o využití pulzno-šírkovej modulácie (PWM). S niektorými z uvedených typov sa budeme zaoberať podrobnejšie.

4.2 Spínacia frekvencia

Jedným z hlavných problémov pri stavbe spínaných zdrojov je voľba vhodnej spínacej frekvencie. Použitie vysokej spínacej frekvencie môže viesť k zníženiu veľkosti magnetických prvkov, ale prináša so sebou aj niekoľko problémov. Zvyšovaním frekvencie u feromagnetických materiálov používaných v oblasti 20-500kHz dochádza k rýchlemu nárastu hysterézných a feromagnetických strát. Navyše straty vírivými prúdmi vo vinutí tiež môžu byť zdrojom vážnych problémov.

Tieto tri elektromagnetické javy, vírivé prúdy tečúce v medených vodičoch a skin efekt, znamenajú značnú prekážku pri navrhovaní indukčností a transformátorov pracujúcich na vysokej frekvencii.



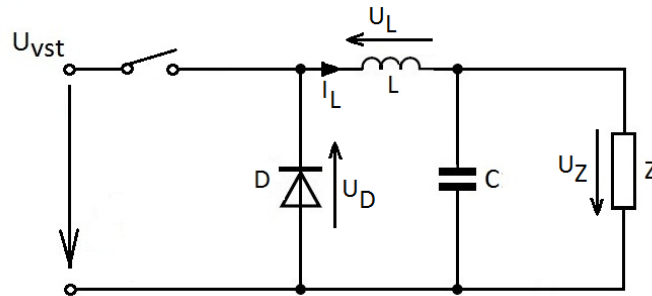
Obrázok 11: Charakteristika veľkosti tlmivky, účinnosti a zvlnenia napätia v závislosti na spínacej frekvencii [11]

4.3 Menič na 230V

Pre toto napätie som použil znižujúci menič (Step-down converter, Buck converter).

Základnú schému znižujúceho meniča vidíme na obrázku. Jedná sa o DC/DC menič, ktorý prevádza vstupné jednosmerné napätie na výstupné jednosmerné napätie. Pričom platí že vstupné napätie je nižšie ako výstupné napätie. Kvôli stabilite je dobré mať vstupné napätie 2x vyššie ako výstupné. Obe napätia sú vstažené voči rovnakému potenciálu a nedá sa teda použiť ku galvanickému oddeleniu zdroja od spotrebiča. Vďaka riadiacemu obvodu (ktorý na

zjednodušenom schémate nevidíme), môže byť výstupné napätie stabilizované – to znamená že menič sa v určitom rozsahu napätia snaží udržať výstupné napätie na konštantnej hodnote bez ohľadu na prúd tečúci do spotrebiča. Dajú sa zapojiť aj ako prúdové zdroje, ako aj v našom prípade.



Obrázok 12: Pripustný menič – základné zapojenie

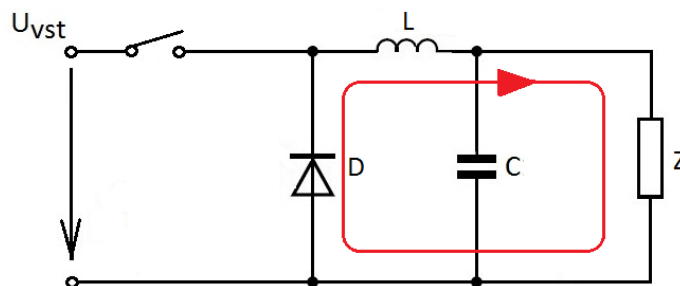
Môžeme sa opýtať: prečo nepoužiť na miesto meniča lineárny stabilizátor? Dôvodom je účinnosť. Obyčajný lineárny stabilizátor má omnoho vyššie straty, pretože rozdiel medzi vstupným a výstupným napätím jednoducho premení na teplo. Stratový výkon lineárneho stabilizátora môžeme zistiť z vzťahu

$$P_{zt} = (U_{vst} - U_{výst}) \cdot I$$

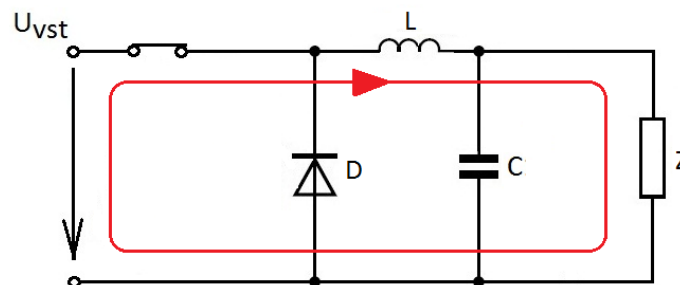
Stratový výkon teda rastie s rozdielom napätia a prúdom. Naproti tomu pripustný menič dosahuje vysokej účinnosti (v praxi 80%-90%) aj pri veľkom rozdielu napätia.

To je dané tým, že energia sa nepremení na teplo, ale je transformovaná do využiteľnej podoby. Straty meniča sú dané len prepínacími stratami spínacieho prvku a stratami pasívnych súčiastok (cievka, dióda, kondenzátor).

Stav1



Stav2



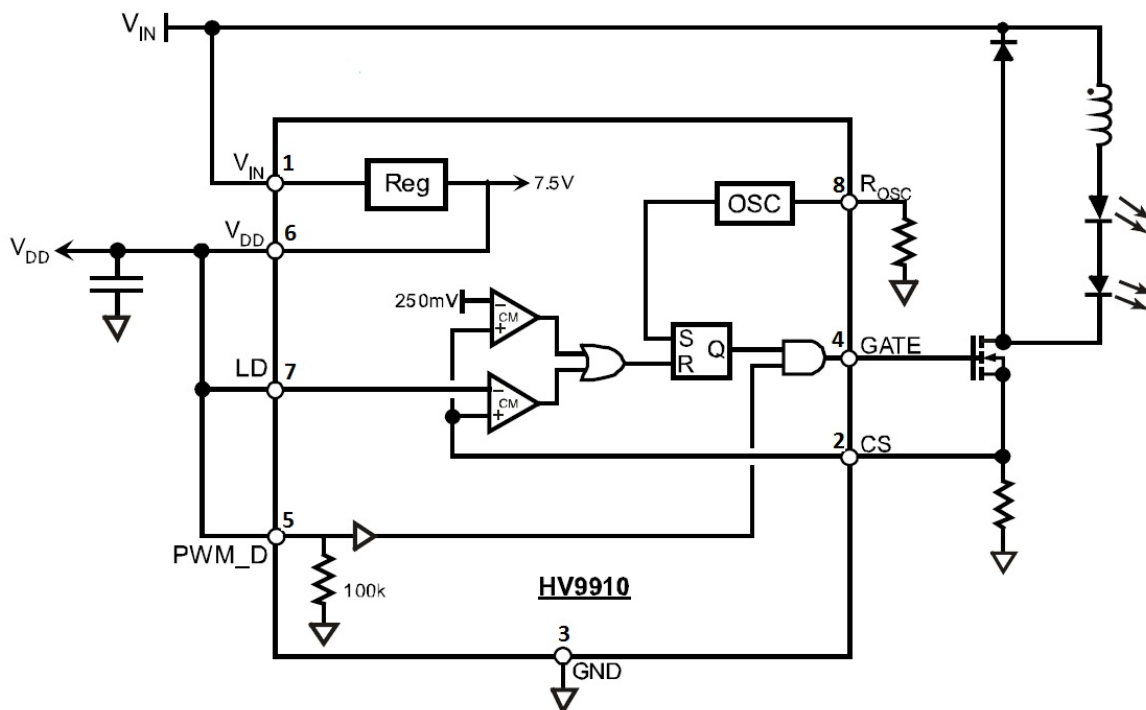
Obrázok 13: Pripustný menič – funkčné stavy

Princíp činnosti pripustného meniča je znázornený na obrázku. Ako vidíme obvod prechádza periodicky dvoma stavmi – podľa toho, či je spínací prvok zapnutý alebo rozopnutý. Najskôr je spínací prvok zapnutý a cez cievku tečie prúd zo zdroja do záťaže. Pričom sa v jadre

cievky akumuluje energia. Potom sa spínací prvok rozopne a prúd začne pretiekať diódou. Energia naakumulovaná v cievke je tak využitá a predávaná do spotrebiča. Dôležitou časťou takého meniča je riadiaci obvod, ktorý určuje okamžiky, v ktorých sa spínací prvok zapne alebo rozopne.

U meničov, ktoré napájajú LED priamo zo siete sú aj iné problémy okrem tých, ktoré sa vyskytli u meniča na 12V. Jednak je tam veľký napätový rozdiel medzi vstupom a výstupom, potom musíme tmiť vlnenie usmerneného sieťového napätia. Preto do obvodu sa dávajú kondenzátory s veľkou kapacitou. Tieto kondenzátory pri pripojení zdroja na sieť môžu vytvárať veľké prúdové špičky, preto na vstup treba zapojiť do série termistor so záporným teplotným koeficientom (ďalej NTC).

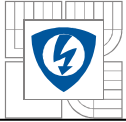
Ako riadiaci obvod pre tento menič som vybral HV9910 od firmy Supertex. Tento obvod bol vyvinutý špeciálne pre LED aplikácie a je schopný ovládať LED diódy s menovitým prúdom od niekoľko mA do 1,5A. Je dobrým základom na stavbu znižovacieho meniča. Jeho blokové zapojenie vidíme na obrázku 14.



Obrázok 14: Bloková schéma HV9910[12]

Obvod je napájaný cez vývod V_{IN} a má široký rozsah napájacieho napätia od 8V, čo umožňuje jeho použitie v automobilovej technológii až do 450V, čo ho robí ideálnym pre aplikácie napájané zo siete. O napájanie vnútorných obvodov sa stará regulátor, ktorý premení vstupné napätie na 7,5V. Toto je potom vyvedené na nohu V_{DD} a je možné zaťažovať prúdom 1mA. HV9910 má dve referenčné napätia. Jedno je vnútorne nastavené na 250mV a druhé možno externe nastavovať cez vývod LD. Tieto referenčné napätia sú potom porovnávané s napätím z bočníka cez vývod CS. Tento obvod je schopný riadiť externý MOSFET bez ďalších ovládacích prvkov.

Pre schému zapojení a návrh DPS vid' prílohu č.



Výpočet jednotlivých prvkov:

Zadané hodnoty:

$U_{vst} = 200-250V$ ($U_{vstmen} = 230V$) – napájacie napätie

$U_{výst} = 4-50V$ – napätie sériovo spojených LED na výstupe

$\eta \geq 90\%$ - účinnosť

$I_{led1} = 700mA$

$I_{led2} = 1000mA$

Spínacia frekvencia:

Spínacia frekvencia určuje veľkosť cievky L1. Väčšia spínacia frekvencia umožňuje použitie menšej cievky, ale zvýši spínacie straty v obvode. Výrobca doporučuje použiť spínaciu frekvenciu $f_s = 50kHz$. Podľa dátového listu HV9910 je vzťah pre časovací rezistor:

$$R_1 = \frac{25 \cdot 10^6}{f_s} - 22$$

$$R_1 = \frac{25 \cdot 10^6}{50 \cdot 10^3} - 22 = 478k\Omega$$

Najbližšia katalógová hodnota je 470kΩ.

Pri dimenzovaní diódového mostíka som použil 50% rezervu:

$$U_{most} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{vstmax}$$

$$U_{most} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 250 = 530,33V$$

$$U_{inmin} = 2 \cdot U_{výstmax}$$

$$U_{vstmin} = 2 \cdot 50 = 100V (DC)$$

$$I_{most} = \frac{U_{výstmax} \cdot I_{výstmax}}{U_{vstmin} \cdot \eta}$$

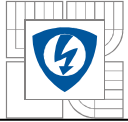
$$I_{most} = \frac{50 \cdot 1}{100 \cdot 0,9} = 0,55A$$

Ako vidíme stačí usmerňovací mostík s prúdom do 1A.

Výpočet NTC:

$$R_{NTC} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{vstmax}}{5 \cdot I_{most}}$$

$$R_{NTC} = \frac{\sqrt{2} \cdot 250}{5 \cdot 0,55} = 128,5\Omega$$



R_{NTC} je odpor termistora pri teplote 25°C. Z katalógu som si vybral termistor K164NE100 s hodnotou 100Ω.

Výpočet kondenzátorov C1 a C2:

$$C_1 \geq \frac{U_{výstmax} \cdot I_{výstmax}}{(2 \cdot U_{vstminAC}^2 - U_{vstmin}^2) \cdot \eta \cdot f_{sit}}$$
$$C_1 \geq \frac{50.1}{(2 \cdot 200^2 - 100^2) \cdot 0.9 \cdot 50} = 15,8 \mu F$$

Elektrolytický kondenzátor C1 so svojou veľkou kapacitou dobre filtruje sieťové vlnenie, ale má veľký ekvivalentný sériový odpor, preto nie je vhodný na absorbovanie vysokofrekvenčného zvlnenia. Preto som použil aj metalizovaný polypropylénový kondenzátor, ktorý má nízku ESR. Kondenzátor C2 pritom filtruje aj parazitnú indukčnosť elektrolytického kondenzátora C1.

$$C_2 \geq \frac{0,25 \cdot I_{výstmax}}{0,05 \cdot U_{vstmin} \cdot f_s}$$
$$C_2 \geq \frac{0,25 \cdot 1}{0,05 \cdot 100 \cdot 50 \cdot 10^3} = 1 \mu F$$

Výpočet tlmivky L1:

Hodnota tlmivky ktorú budeme používať, závisí na povolenom zvlnení prúdu cez LED. Keď predpokladáme dovolené zvlnenie 15% (celkom 30%) tak výraz pre výpočet tlmivky môžeme odvodiť zo vzťahu:

$$U_{L1} = U_{LED} = L_1 \frac{di}{dt}$$

Keď tranzistor je rozopnutý tak tlmivka dodáva energiu do LED. di je celkové zvlnenie prúdu:

$$di = 0,3 \cdot I_{výstmax}$$

dt je čas, kým je tranzistor vypnutý (T_{vyp}). Môžeme vyjadriť zo striedy:

$$D = \frac{T_{zap}}{T}$$

Ďalej platí:

$$D = \frac{U_{výst}}{U_{vst}} = \frac{U_{výstmax}}{\sqrt{2} \cdot U_{vstmen}}$$

Konečne:

$$dt = T_{vyp} = \frac{1 - \frac{U_{výstmax}}{\sqrt{2} \cdot U_{vstmen}}}{f_s}$$

Môžeme teda napísať



$$L_1 = \frac{U_{výstmax} \cdot \left(1 - \frac{U_{výstmax}}{\sqrt{2} \cdot U_{vstmen}}\right)}{0,3 \cdot I_{výstmax} \cdot f_s}$$
$$L_1 = \frac{50 \cdot \left(1 - \frac{50}{\sqrt{2} \cdot 230}\right)}{0,3 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 10^3} = 2,82mH$$

Prúdové zaťaženie tlmivky:

$$I_{L1} = 1,15 \cdot I_{výstmax} = 1,15A$$

Vybral som si tlmivku s indukčnosťou 2,8mH a menovitým prúdom 3A.

Bočník R2:

Ako som už písal, vnútorné referenčné napätie pre prúdovú spätnú väzbu bude $U_{ref} = 250mV$. Táto hodnota umožňuje použiť bočník s malým odporom. Zapojenie som navrhoval tak, aby bolo možné použiť LED s menovitým prúdom 700mA, alebo 1000mA, tým pádom musíme použiť dva bočníky. Treba ich nakonfigurovať jednak na I_{led1} , potom aj na I_{led2} .

$$R_{21} = \frac{U_{ref}}{I_{led1}}$$

$$R_{21} = \frac{0,25}{0,7} = 0,357\Omega$$

$$P_{R21} = R_{21} \cdot I_{led1}^2$$

$$P_{R21} = 0,357 \cdot 0,7^2 = 0,175W$$

Najbližšia normalizovaná hodnota je 0,33Ω.

$$R_{22} = \frac{U_{ref}}{I_{led2}}$$

$$R_{22} = \frac{0,25}{1} = 0,25\Omega$$

$$P_{R22} = R_{22} \cdot I_{led2}^2$$

$$P_{R22} = 0,25 \cdot 1 = 0,25W$$

Najbližšia normalizovaná hodnota je 0,22Ω.

MOSFET:

Najvyššie napätie, ktoré sa môže objaviť na MOSFET je maximálne napájacie napätie. Pre istotu som počítal s 50% rezervou:

$$U_{FET} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 250 = 530,33V$$

Najvyššia efektívna hodnota prúdu cez MOSFET je závislá na striede, ktorá bude maximálne 50%.

$$I_{FET} \approx I_{výstmax} \cdot 0,5$$

$$I_{FET} \approx 1,05 = 0,5A$$



Kvôli zníženiu strát je dobré použiť MOSFET s nízkym prechodným odporom. Z katalógu som si vybral MOSFET IRFPC40, ktorý vyhovuje daným požiadavkám.

Dióda D1:

Pre diódu D1 platí to isté ako pre MOSFET:

$$U_{D1} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 250 = 530,33V$$

Stredný prúd diódou bude

$$I_{D1} = 0,5 \cdot I_{výstmax} = 0,5A$$

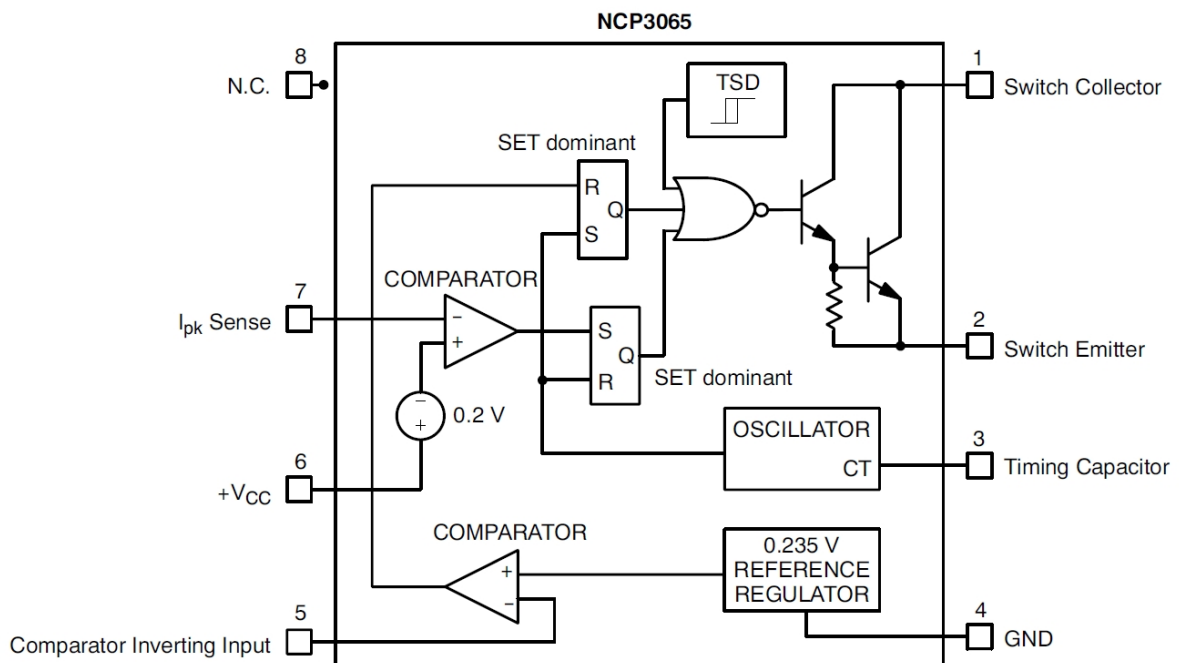
Aby sme znížili spínacie straty je dobré si zvoliť nejakú superrýchlu diódu s dobou zotavenia do 50ns. Ja som si vybral BYV26C.

4.4 Menič na 12V

U meniča na 12V som mal asi najjednoduchšiu úlohu. Základom je znižujúci menič ako u zapojení na 230V. Na trhu je široký výber ovládacích obvodov na toto napätie. Voľba padla na obvod NCP3065 od firmy ON SEMICONDUCTOR. Pôvodne som chcel použiť obvod MC34063, ale ten má referenčné napätie 1,25V oproti NCP3065, ktorý má 235mV teda aj 5x menšie straty na bočníku.

NCP3065

Blokovú schému vidíme na obrázku



Obrázok 15: Vnútorne zapojenie NCP3065[13]

Okrem prvkov, ktoré sú typické pre ovládacie obvody meničov, tu vidíme aj dva tranzistory v Darlingtonovom zapojení. Tieto tranzistory znesú zaťažovací prúd až 1,5A. Oscilátor tu môžeme nastavovať externou kapacitou medzi 100 až 300kHz. Obvod obsahuje tepelnú ochranu s hysteréziou a vypína tranzistory pri teplote 165°C.

Pre schému zapojení a návrh DPS vid' prílohu č.

Zvolená spínacia frekvencia u aplikácii s nízkym vstupným napätím je $f_s=150\text{kHz}$.

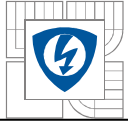
Výpočet súčiastok:

Zadané hodnoty:

$U_{vst}=10-14V$ – napájacie napätie

$U_{vyst}=4-8V$ – napätie LED na výstupe

$\eta \geq 90\%$ - účinnosť



$$I_{led1} = 350mA$$

$$I_{led2} = 700mA$$

$$I_{led3} = 1000mA$$

Schéma zapojenia:

Vid' prílohu č.2

Typická spínacia frekvencia u aplikácii s nízkym vstupným napätím je $f_s = 150kHz$. Ako vidíme, výstupné napätie je až 80% minimálneho vstupného napätia. Aby nedošlo k nestabilite, lepšie by bolo použiť menič s konštantnou T_{vyp} ale tento ovládací obvod neumožňuje takéto zapojenie.

Výpočet vstupného kondenzátora:

Kondenzátor C1 absorbuje vysokofrekvenčné zvlnenie v obvode. Je dobré si zvoliť kondenzátor fóliový alebo keramický s nízkym ekvivalentným sériovým odporom. Použijeme vzťah z predchádzajúceho príkladu:

$$C_1 \geq \frac{0,25 \cdot I_{výstmax}}{0,05 \cdot U_{vstmin} \cdot f_s}$$
$$C_1 \geq \frac{0,25 \cdot 1}{0,05 \cdot 10 \cdot 150 \cdot 10^3}$$
$$C_1 \geq 3,33\mu F$$

Zvolil som keramický kondenzátor s kapacitou 4,7 μ F/25V.

Výpočet tlmivky L1:

$$L_1 = \frac{U_{výstmax} \cdot T_{vyp}}{0,3 \cdot I_{výstmax}}$$

kde

$$T_{vyp} = \frac{U_{vstmin} - U_{výstmax}}{f_s \cdot U_{vstmin}}$$

Ďalej teda

$$L_1 = \frac{U_{výstmax} \cdot (U_{vstmin} - U_{výstmax})}{0,3 \cdot I_{led} \cdot f_s \cdot U_{vstmin}}$$
$$L_1 = \frac{8 \cdot (10 - 8)}{0,3 \cdot 1 \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 10} = 35\mu H$$

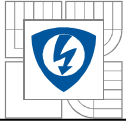
Špičkový prúd cez L1 je daný:

$$I_{L1} = 1,15 \cdot I_{výstmax} = 1,15A$$

Najbližšia normalizovaná hodnota je 33 μ H.

MOSFET:

Najvyššie napätie, ktoré sa môže objaviť na MOSFET je napájacie napätie. Použitím 50%-nej rezervy:



$$U_{FET} = 1,5 \cdot 14 = 21V$$

Najvyšší efektívny prúd cez MOSFET s 80%-nou striedou bude:

$$I_{FET} = I_{výstmax} \cdot 0,8 = 0,8A$$

Zvolil som MOSFET IRF9540.

Časovací kondenzátor:

Podľa dátového listu pre frekvenciu 150kHz bude časovací kondenzátor:

$$C_T = \frac{381,6 \cdot 10^{-6}}{f_s} - 343 \cdot 10^{-12}$$
$$C_T = \frac{381,6 \cdot 10^{-6}}{150 \cdot 10^3} - 343 \cdot 10^{-12} = 2,2nF$$

Bočníky:

Vzhľadom na to, že máme tri rôzne prúdy pre záťaž, musíme použiť tri bočníky s odlišnou hodnotou:

$$R_{21} = \frac{U_{ref}}{I_{led1}}$$

$$R_{21} = \frac{0,235}{0,35} = 0,671\Omega$$

$$P_{R21} = R_{21} \cdot I_{led1}^2$$

$$P_{R21} = 0,671 \cdot 0,35^2 = 83mW$$

Najbližšia normalizovaná hodnota je 0,68Ω.

$$R_{22} = \frac{U_{ref}}{I_{led2}}$$

$$R_{22} = \frac{0,235}{0,7} = 0,336\Omega$$

$$P_{R22} = R_{22} \cdot I_{led2}^2$$

$$P_{R22} = 0,336 \cdot 0,7^2 = 165mW$$

Najbližšia normalizovaná hodnota je 0,33Ω.

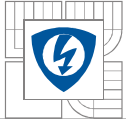
$$R_{23} = \frac{U_{ref}}{I_{led3}}$$

$$R_{21} = \frac{0,235}{1} = 0,235\Omega$$

$$P_{R21} = R_{21} \cdot I_{led1}^2$$

$$P_{R21} = 0,235 \cdot 1^2 = 235mW$$

Najbližšia normalizovaná hodnota je 0,22Ω.



Výstupný kondenzátor C2:

Veľkosť kapacity výstupného kondenzátora nie je kritická. Teoreticky by mohla byť aj nulová lebo indukčnosť L1 tvorí dolnú priepust prvého radu. Pridaním kondenzátora zvýšime rad priepusty a zlepšime kvalitu filtrácie. Treba však zaistiť, a podľa Thomsonova vzťahu kontrolovať, aby vlastný rezonančný kmitočet filtru ležal dostatočne nižšie než pracovný kmitočet f_s meniča, aby náhodou nedošlo k rezonancii.

Rezonančnú frekvenciu dostaneme zo vzťahu:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Pre kondenzátor C2 potom bude platiť:

$$C_2 \gg \frac{1}{L \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f_s^2}$$

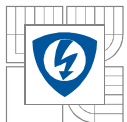
$$C_2 \gg \frac{1}{35 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot (150 \cdot 10^3)^2}$$

$$C_2 \gg 32.17 \text{ nF}$$

Použil som keramický kondenzátor CK 1M/50V s kapacitou 1 μF .

4.4.1 Meranie na meniči

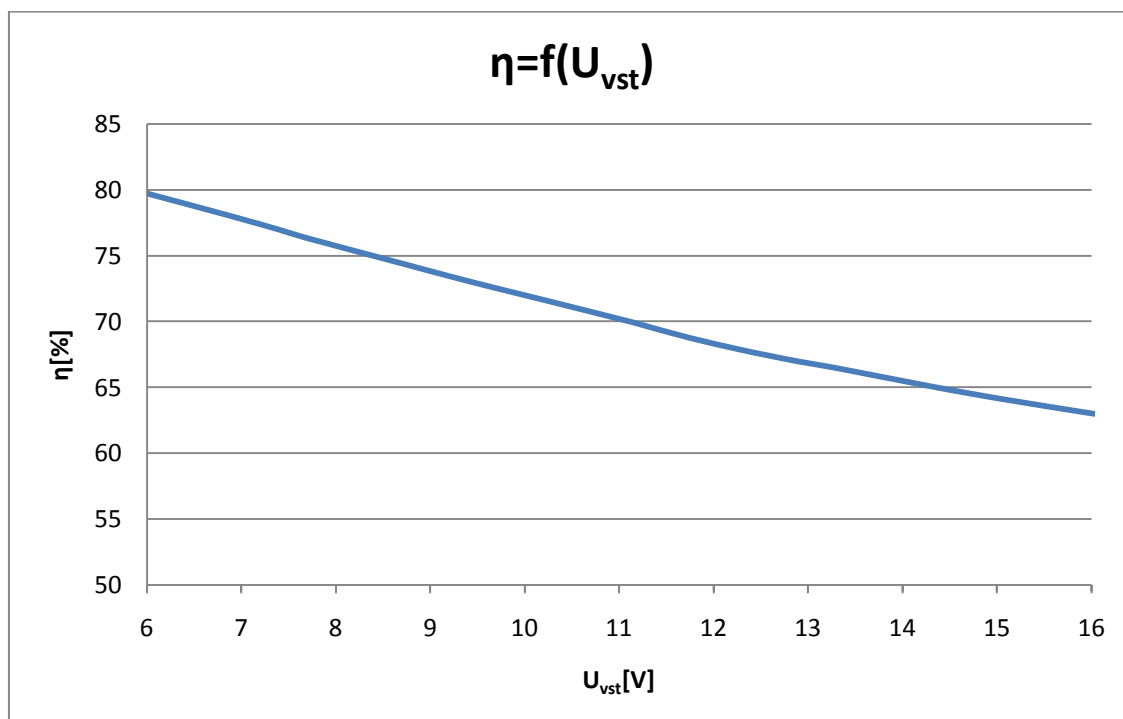
Meranie som previedol na prístroji Yokogawa. Tento univerzálny prístroj umožňuje uskutočniť meranie s oveľa vyššou presnosťou, akou by sme to mohli urobiť s klasickými prístrojmi. Nameria vstupné a výstupné hodnoty, a zapisuje ich do počítača. Ako záťaž som použil Zenerovu diódu 1N5335B. Meranie som urobil s výstupnými prúdmi 350mA, 700mA a 1000mA.



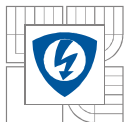
Namerané hodnoty:

Č.	Vstupné hodnoty			Výstupné hodnoty			Účinnosť
	U [V]	I [A]	P [W]	U [V]	I [A]	P [W]	[%]
1	5,99	0,2666	1,5964	3,8899	0,3279	1,2726	79,72
2	6,86	0,2442	1,6740	3,8878	0,3373	1,3063	78,05
3	7,41	0,2360	1,7490	3,8876	0,3476	1,3452	76,93
4	7,69	0,2331	1,7900	3,8897	0,3530	1,3660	76,33
5	8,73	0,2225	1,9430	3,8994	0,3725	1,4441	74,32
6	9,18	0,2184	2,0050	3,9024	0,3798	1,4728	73,46
7	9,64	0,2140	2,0630	3,9042	0,3863	1,4981	72,61
8	10,25	0,2082	2,1340	3,9061	0,3936	1,5266	71,53
9	11,06	0,1968	2,1750	3,9025	0,3938	1,5243	70,08
10	11,19	0,1940	2,1690	3,9005	0,3919	1,5151	69,84
11	11,74	0,1850	2,1700	3,8942	0,3872	1,4920	68,76
12	12,28	0,1801	2,2110	3,8949	0,3896	1,5000	67,85
13	12,57	0,1783	2,2400	3,8960	0,3923	1,5102	67,42
14	12,92	0,1765	2,2790	3,8973	0,3963	1,5254	66,92
15	13,31	0,1750	2,3270	3,9012	0,4014	1,5462	66,44
16	14,29	0,1712	2,4460	3,9071	0,4129	1,5916	65,07
17	15,11	0,1683	2,5410	3,9106	0,4219	1,6272	64,03
18	16,13	0,1648	2,6580	3,9194	0,4323	1,6706	62,86

Tabuľka 3: Tabuľka nameraných hodnôt pre výstupný prúd 350mA

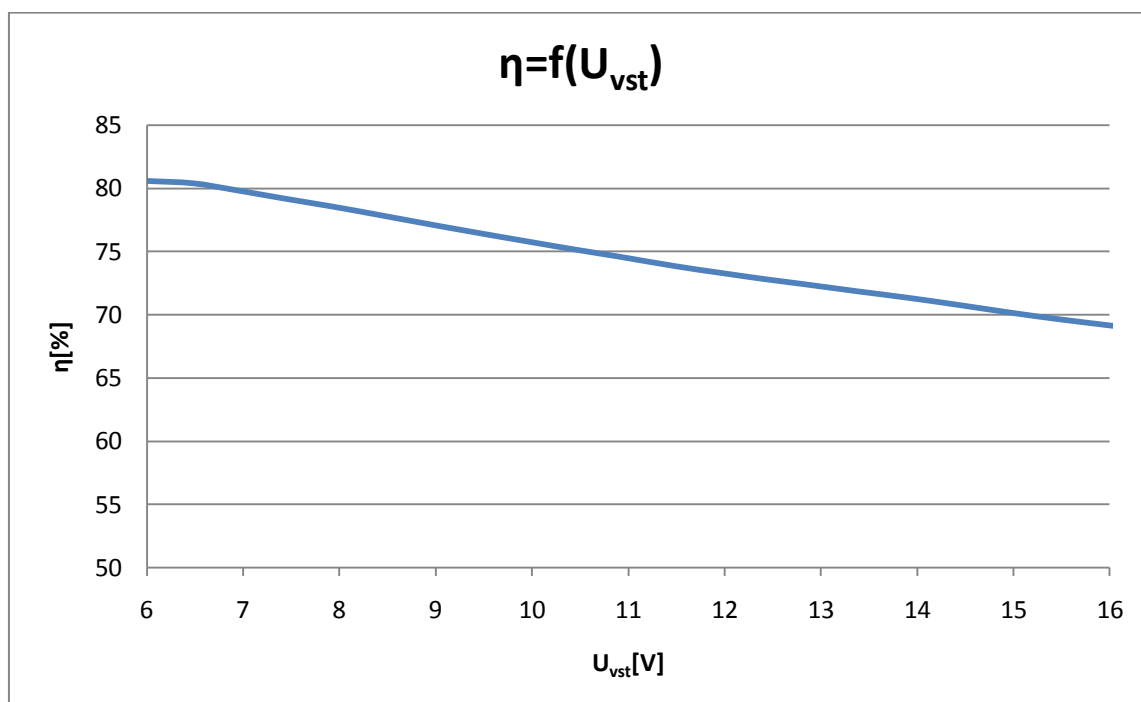


Obrázok 16: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí pri $I_{led} = 350mA$

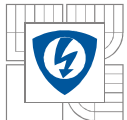


Č.	Vstupné hodnoty			Výstupné hodnoty			Účinnosť
	U [V]	I[A]	P[W]	U[V]	I[A]	P[W]	[%]
1	5,9959	0,5731	3,4364	4,0823	0,6789	2,7700	80,61
2	6,4816	0,5271	3,4164	4,0456	0,6797	2,7474	80,42
3	6,9250	0,4964	3,4380	4,0203	0,6837	2,7458	79,88
4	7,4140	0,4727	3,5040	4,0133	0,6928	2,7765	79,23
5	7,9270	0,4519	3,5820	4,0083	0,7034	2,8148	78,58
6	8,4000	0,4354	3,6580	4,0052	0,7129	2,8503	77,93
7	8,8900	0,4205	3,7380	4,0049	0,7222	2,8868	77,24
8	9,4110	0,4056	3,8170	4,0043	0,7309	2,9211	76,53
9	9,9570	0,3910	3,8930	4,0019	0,7391	2,9515	75,81
10	10,4580	0,3739	3,9100	3,9969	0,7371	2,9386	75,16
11	10,8900	0,3635	3,9580	3,9961	0,7413	2,9539	74,63
12	11,5030	0,3386	3,8940	3,9888	0,7239	2,8757	73,84
13	11,9480	0,3308	3,9520	3,9917	0,7293	2,8982	73,34
14	12,4100	0,3243	4,0240	3,9919	0,7376	2,9310	72,84
15	12,8060	0,3195	4,0910	3,9951	0,7453	2,9638	72,45
16	13,3880	0,3128	4,1880	4,0006	0,7558	3,0094	71,86
17	13,8910	0,3071	4,2650	4,0006	0,7645	3,0437	71,37
18	14,4190	0,3009	4,3380	3,9991	0,7718	3,0714	70,80
19	14,9670	0,2947	4,4110	3,9997	0,7778	3,0953	70,18
20	15,4800	0,2894	4,4800	4,0025	0,7836	3,1203	69,65
21	16,0710	0,2833	4,5520	4,0046	0,7895	3,1452	69,10

Tabuľka 4: Tabuľka nameraných hodnôt pre výstupný prúd 700mA

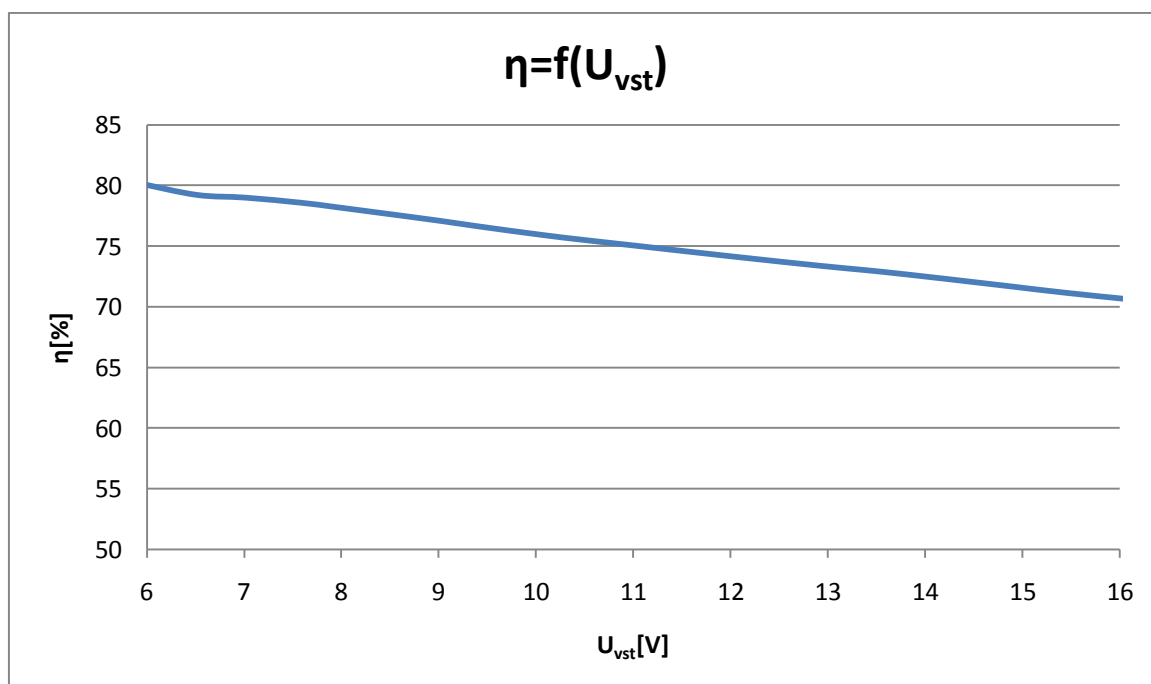


Obrázok 17: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí pri $I_{led2} = 700mA$



Č.	Vstupné hodnoty			Výstupné hodnoty			Účinnosť
	U [V]	I [A]	P [W]	U [V]	I [A]	P [W]	[%]
1	5,8844	0,7263	4,2737	4,1001	0,8367	3,4294	80,24
2	6,5097	0,8060	5,2463	4,0899	1,0167	4,1564	79,23
3	7,0100	0,7478	5,2420	4,0661	1,0191	4,1410	79,00
4	7,5820	0,6928	5,2530	4,0503	1,0198	4,1272	78,58
5	7,9320	0,6692	5,3070	4,0474	1,0267	4,1519	78,23
6	8,4160	0,6401	5,3870	4,0405	1,0372	4,1867	77,72
7	8,9980	0,6096	5,4850	4,0346	1,0494	4,2293	77,10
8	9,4030	0,5902	5,5490	4,0303	1,0563	4,2525	76,63
9	10,0510	0,5628	5,6570	4,0281	1,0676	4,2949	75,93
10	10,4640	0,5401	5,6500	4,0244	1,0623	4,2681	75,53
11	11,0240	0,5107	5,6280	4,0218	1,0525	4,2231	75,03
12	12,0290	0,4760	5,7250	4,0265	1,0571	4,2439	74,13
13	12,9080	0,4575	5,9040	4,0277	1,0787	4,3320	73,38
14	13,3750	0,4481	5,9920	4,0316	1,0885	4,3752	73,02
15	13,8050	0,4395	6,0650	4,0305	1,0966	4,4067	72,66
16	14,5900	0,4247	6,1940	4,0293	1,1093	4,4560	71,94
17	14,9200	0,4182	6,2370	4,0269	1,1129	4,4670	71,63
18	15,4550	0,4085	6,3110	4,0264	1,1186	4,4890	71,13
19	16,0750	0,3975	6,3880	4,0259	1,1243	4,5110	70,62

Tabuľka 5: Tabuľka nameraných hodnôt pre výstupný prúd 1000mA



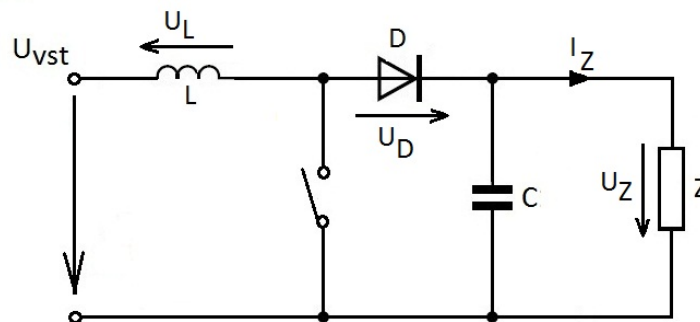
Obrázok 18: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí pri $I_{led3} = 1000mA$

Vyhodnotenie merania:

Meranie som uskutočnil ja prístroji YOKOGAWA, ktorý sleduje vstupné a výstupné hodnoty na meniči a zapisuje ich do tabuľky. Merat' som začal na vstupnom napätí 6V a po 0,5V zvyšoval napätie. U každej záťaži pri napájacom napätí 6V bola účinnosť okolo 80%. Zvyšovaním vstupného napätia účinnosť lineárne klesala. Najvyšší pokles som zaznamenal u zaťažovacieho prúdu 350mA. Pri 16V tam bola len 62,86%. U výstupného prúdu 700mA a 1000mA a 16V poklesla účinnosť na 70%.

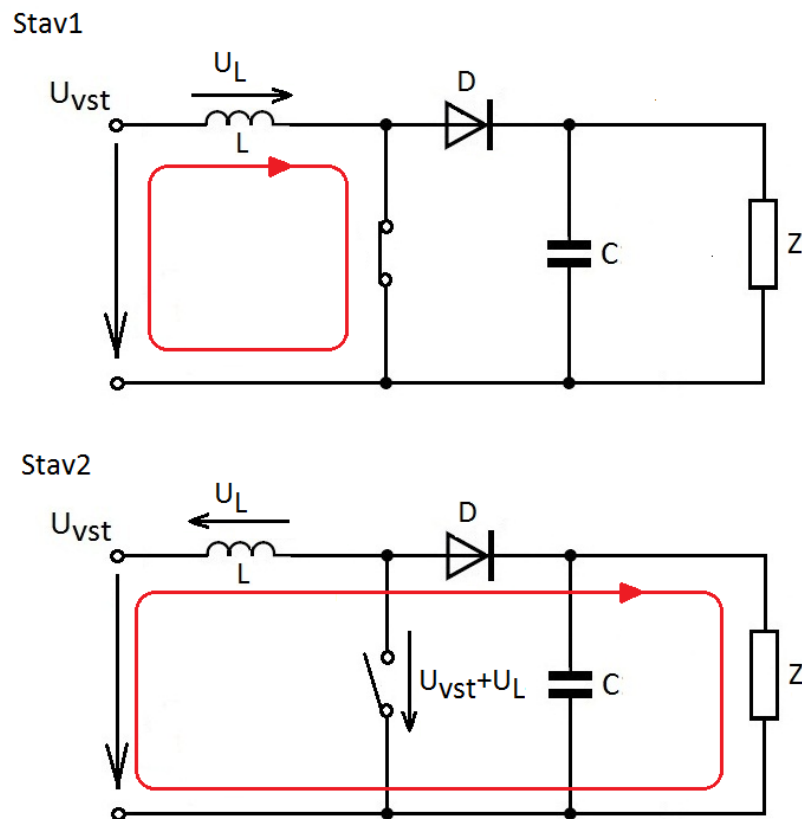
4.5 Menič na 1,2V

Zvyšujúci menič (Step-up converter, boost-converter)



Obrázok 19: Zvyšujúci menič – základné zapojenie

Zvyšujúce meniče sú ideálne pre aplikácie s LED, kde napätie potrebné pre LED je väčšie ako vstupné napätie. Zvyšujúce meniče sú bežne používané v aplikáciách kde minimálne výstupné napätie je 1,5 násobok vstupného napätia. Tieto zvyšujúce meniče sú ľahko konštruovateľné a majú účinnosť okolo 90%.



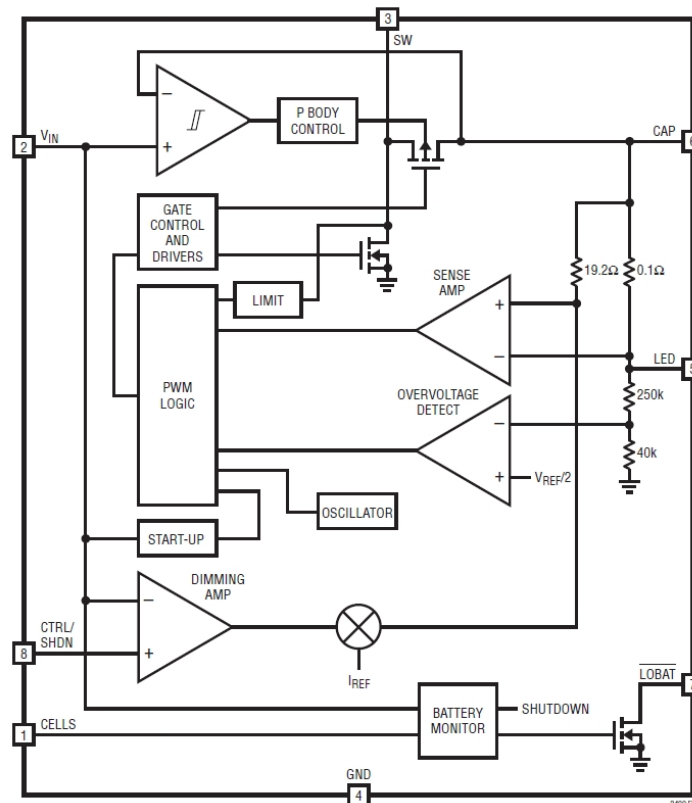
Obrázok 20: Zvyšujúci menič – funkčné stavy

Behom doby, ktorou je spínač zapnutý, nabitý kondenzátor sa vybíja zo záťaže. Dióda bráni prechodu prúdu smerom do cievky. Behom tejto doby exponenciálne klesá výstupné napätie

a prúd. Pri rozopnutí spínača sa magnetické pole cievky, podľa Lenzova pravidla, snaží zachovať veľkosť a prúd obvodom. Napätie na cievke z tohto dôvodu zmení polaritu na opačnú. Toto napätie sa sčíta s napätím vstupným, a súčet oboch napätí pôsobí na anódu diódy, vďaka čomu sa kondenzátor nabíja. Vzhľadom k tomu že vstupné napätie je teraz väčšie, než pôvodné napájacie, je možné dosiahnuť stav, kedy stredná hodnota výstupného napätia bude väčšia než vstupné napätie a bude závislá na striede spínaných pulzov. Spínané zdroje založené na tomto princípu umožňujú na výstupe dosiahnuť napätie vyššie než vstupné, z toho vyplýva ich názov step-up converters.

Návrh zapojenia

Pre túto aplikáciu som si vybral obvod LTC3490 od firmy LINEAR TECHNOLOGY. Tento obvod bol priamo skonštruovaný na riadení 1W LED a zabezpečuje konštantný prúd 350mA. Umožňuje použiť napájacie napätie v rozsahu 1V až 3,2V. Maximálne výstupné napätie pri plnej záťaži je 4V. Pri odpojenej záťaži je výstupné napätie obmedzené na 4,7V. Spínacia frekvencia je vnútorne nastavená na 1,3MHz. Minimálne množstvo potrebných súčiastok ho robí ideálnym do ručných svietidiel. Pre schému zapojení a návrh DPS vid' prílohu č.



Obrázok 21: Vnútorné zapojenie LTC3490

Zapojenie som prevzal z dátového listu obvodu. LTC3490 bol navrhnutý na napájanie z 1 alebo 2 monočlánkov s menovitým napätím 1,2-1,5V. Funguje ako zvyšovací menič s prúdovou spätnou väzbou. V prípade, že napájacie napätie je vyššie ako potrebné pre LED, obvod obmedzuje prúd PWM reguláciou.

Výpočet súčiastok

Zadané hodnoty:

$$U_{vst} = 1-3,6V$$

$$U_{výst} = 4V$$

$$\eta \geq 90\% - \text{účinnosť}$$

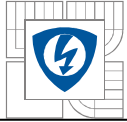
$$I_{výst} = 350mA$$

$$I_{vst} = \frac{U_{výst} \cdot I_{výst}}{U_{vst} \cdot \eta} = 1,55A$$

Tlmivka L1:

Hodnota tlmivky ktorú budeme používať, závisí na povolenom zvlnení prúdu cez LED. Keď predpokladáme dovolené zvlnenie $\pm 15\%$ (celkom 30%) tak výraz pre výpočet tlmivky môžeme odvodiť zo vzťahu:

$$U_{L1} = L_1 \frac{di}{dt}$$



Keď tranzistor je rozopnutý tak tlmivka sa chová ako zdroj a výstupné napätie bude súčet napätia na cievke a vstupného napätia.

$$U_{výst} = U_{L1} + U_{vst}$$

di je celkové zvlhnenie prúdu. V našom prípade $\pm 15\%$

$$di = 0,3 \cdot I_{ledmax}$$

dt je čas, kým je tranzistor vypnutý (T_{vyp}). Môžeme vyjadriť zo striedy:

$$D = 1 - \frac{T_{vyp}}{T}$$

Alebo:

$$D = 1 - \frac{U_{vst}}{U_{výst}}$$

$$dt = T_{vyp} = \frac{U_{vstmin}}{U_{výst} \cdot f_s}$$

Dosadením do rovnice:

$$L_1 = \frac{U_{vstmin} \cdot (U_{výst} - U_{vstmin})}{0,3 \cdot I_{led} \cdot f_s \cdot U_{výst}}$$

$$L_1 = \frac{1 \cdot (4 - 1)}{0,3 \cdot 0,35 \cdot 1,3 \cdot 10^6 \cdot 4} = 5,49 \mu H$$

Prúdové zaťaženie cievky:

$$I_{LPK} = I_{výst} \frac{(U_{výst} + I_{výst} \cdot R_p) - I_{vst} \cdot R_n}{U_{vstmin} - I_{vst} \cdot R_n} + \frac{U_{vstmin} \cdot (U_{výst} - U_{vstmin})}{2 \cdot L \cdot f_s \cdot U_{výst}}$$

$$I_{LPK} = 0,35 \frac{(4 + 0,35 \cdot 0,13) - 1,4 \cdot 0,1}{1 - 1,4 \cdot 0,1} + \frac{1 \cdot (4 - 1)}{2,5 \cdot 49 \cdot 1,3 \cdot 10^6 \cdot 4}$$

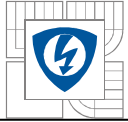
$$I_{LPK} = 1,61 A$$

Aby sme dospeli k vysokej účinnosti, musíme použiť tlmivku s vysokofrekvenčným jadrom, ako je napr. Ferrit. Tlmivka by mala mať nízky ekvivalentný sériový odpor kvôli zníženiu Ohmických strát. Tiež by mala zvládnuť maximálny vstupný prúd bez presýtenia. Malé SMD tlmivky väčšinou nie sú schopné splniť tieto kritériá.

Pri výbere tlmivky platí, že indukčnosť môže byť vyššia ako vypočítaná hodnota. U aplikácii s jednou 1,2-1,5V batériou ESR musí byť do 25mΩ. Použil som tlmivku PANASONIC - ELLATV8R2N.

Výstupný kondenzátor C1:

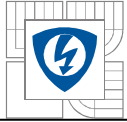
Hodnota filtračného kondenzátora je veľmi podstatná. V čase keď je MOSFET zapnutý LED napája len kondenzátor. Jeho kapacita a ekvivalentný sériový odpor primárne ovplyvňujú



zvlnenie prúdu na výstupe. Výrobca navrhuje použiť kondenzátor s kapacitou $4,7\mu\text{F}$ a ESR do $5\text{m}\Omega$.

Dodatočné funkcie:

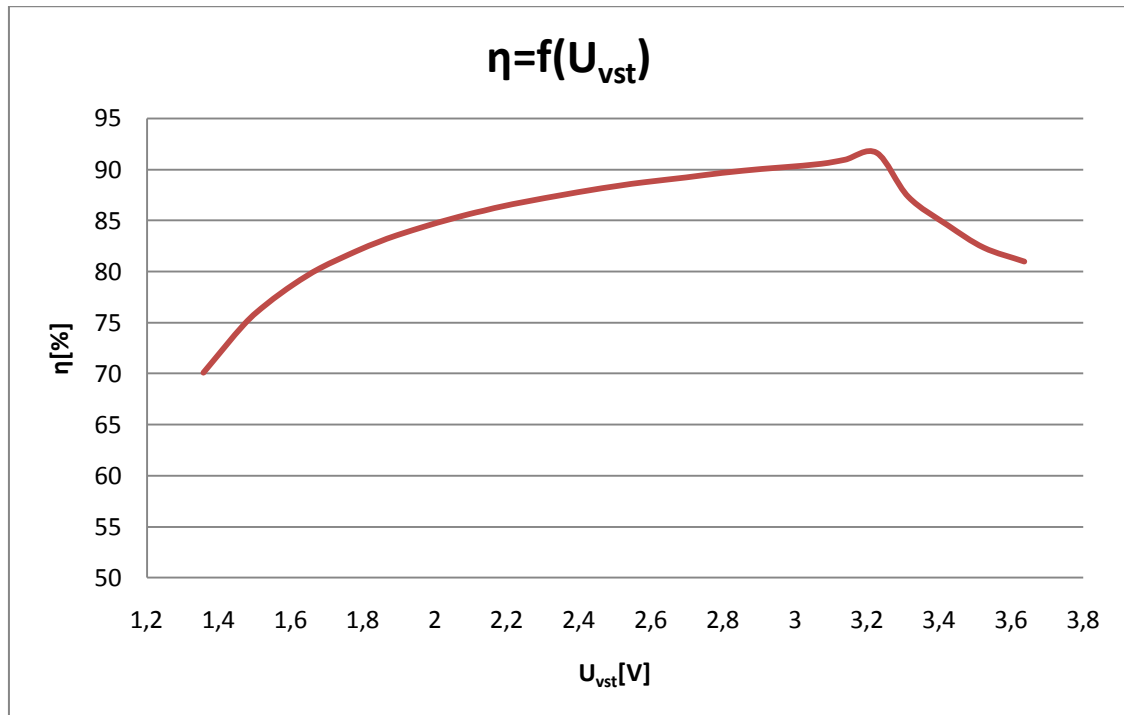
Ovládací obvod umožňuje použitie signalizáciu vybitia batérie. Keď vstupné napätie poklesne na hodnotu 1V /batéria tak výstup 7 prepojí na GND. Môžeme napríklad cez tento výstup riadiť malú kontrolnú LED diódu, ktorá sa rozsvieti pri poklese napätia pod danú úroveň. Po ďalšom klesaní na $0,8\text{V}$ vypína menič.



4.5.1 Meranie na meniči

Č.	Vstupné hodnoty			Výstupné hodnoty			Účinnosť
	U [V]	I[A]	P[W]	U[V]	I[A]	P[W]	[%]
1	3,637	0,415	1,496	3,343	0,385	1,212	80,99
2	3,525	0,420	1,466	3,329	0,386	1,207	82,35
3	3,425	0,414	1,409	3,315	0,380	1,191	84,55
4	3,315	0,410	1,350	3,306	0,374	1,179	87,32
5	3,228	0,391	1,259	3,288	0,358	1,153	91,62
6	3,139	0,403	1,262	3,278	0,358	1,147	90,95
7	3,073	0,412	1,262	3,271	0,357	1,143	90,55
8	2,972	0,424	1,257	3,264	0,352	1,134	90,22
9	2,907	0,433	1,253	3,258	0,348	1,128	90,04
10	2,798	0,447	1,249	3,252	0,344	1,120	89,66
11	2,699	0,464	1,252	3,249	0,344	1,117	89,22
12	2,583	0,486	1,257	3,247	0,344	1,115	88,75
13	2,511	0,502	1,260	3,244	0,343	1,114	88,40
14	2,398	0,529	1,267	3,242	0,343	1,112	87,77
15	2,216	0,578	1,282	3,240	0,343	1,110	86,60
16	2,136	0,604	1,289	3,237	0,342	1,108	85,96
17	2,097	0,617	1,293	3,236	0,342	1,107	85,64
18	2,032	0,640	1,301	3,234	0,342	1,106	85,03
19	1,981	0,660	1,308	3,233	0,342	1,105	84,51
20	1,896	0,696	1,320	3,232	0,342	1,104	83,57
21	1,843	0,722	1,330	3,231	0,341	1,102	82,88
22	1,783	0,753	1,343	3,230	0,341	1,101	82,01
23	1,683	0,814	1,370	3,229	0,341	1,101	80,35
24	1,608	0,869	1,398	3,229	0,341	1,101	78,76
25	1,535	0,935	1,435	3,230	0,342	1,103	76,86
26	1,470	1,005	1,478	3,230	0,342	1,105	74,79
27	1,358	1,164	1,581	3,231	0,343	1,108	70,12

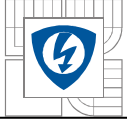
Tabuľka 6: Tabuľka nameraných hodnôt pre menič 1,2V



Obrázok 22: Závislosť účinnosti na vstupnom napätí

Vyhodnotenie merania:

Meranie som uskutočnil ja prístroji YOKOGAWA, ktorý sleduje vstupné a výstupné hodnoty na meniči a zapisuje ich do tabuľky. Merat' som začal na maximálnom povolenom vstupnom napätí 3,6V a po 0,1V som znižoval napätie. Účinnosť najprv stúpala, pri vstupnom napätí 3,228V bola až 91,62%. Ďalším znižovaním začala klesať exponenciálne. Najnižšia nameraná hodnota účinnosti bola 70,12%. Potom už napájací zdroj hlásil preťaženie. Z nameraných hodnôt sa dá posúdiť, že na napájanie je efektívnejšie použiť dve 1,2V batérie. Vysoký prúd pri nízkom napájacom napätí spôsobuje veľké výkonové straty a viac namáha jednotlivé súčiastky svietidla (spínač, pružiny...).



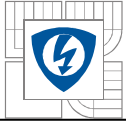
5 ZÁVER

V tejto práci som sa snažil dať osvetu do oblasti LED svietenia, porovnával som jednotlivé svetelné zdroje, ich účinnosti a spektrá. Navrhol som meniče na napäťové úrovne 230V, 12V, 1,2V podľa zadania. Príslušnými výpočtami som definoval hodnoty jednotlivých súčiastok a na základe výsledkov som vybral vhodné súčiastky. Vykonal som merania na meničoch pre napätie 12V a 1,2V. Namerané hodnoty som zapisoval do tabuľky a zostrojil som graf závislosti účinnosti na napájacom napätí. Menič na 230V sa mi nepodarilo celkom oživiť. Nastali sa tam problémy so stabilitou, ktoré by mohli byť spôsobené veľkým napäťovým rozdielom medzi vstupom a výstupom. Možné riešenie by bolo použitie dvojstupňového znižovacieho meniča.



LITERATÚRA

- [1] Zach Zang: BUCK Converter Control Cookbook, Alpha & Omega Semiconductor, Inc.
- [2] Philip Drake: High- Brightness LED Control Interface, Freescale Semiconductor, USA, 2007.
- [3] Steve Winder: Power Supplies for LED drivers, 2008
- [4] Kamil Dudka: Model propustného meniče, 2008
- [5] NXP founded by Philips: Discrete LED driver, 2009
- [6] Schanda János: LED alkalmazások, Budapest, 2007
- [7] Chris Richardson: LED Applications and Driving Techniques, National Semiconductor Corporation, 2007
- [8] http://www.all-battery.com/productimages/flashlights/clip_image002_0001.jpg
- [9] <http://www.philipslumileds.com/pdfs/DS64.pdf>
- [10] <http://www.philipslumileds.com/pdfs/DS25.pdf>
- [11] <http://focus.ti.com/lit/an/slyt117/slyt117.pdf>
- [12] Supertex inc.: HV9910 Universal high brightness LED driver datasheet, 2004
- [13] ON semiconductor: NCP3065, NCV3065, Up to 1,5A constant current switching regulator for LED datasheet, 2008
- [14] Linear technology: LTC3490 single cell 350mA LED driver datasheet, 2005



Príloha 3: Schéma zapojenia meniča na 1,2V

