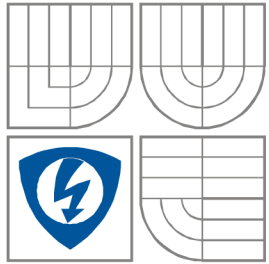


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## Porovnávání vlastností spínaných LED budičů

Comparison of switching LED drivers

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Vojtěch Káňa

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Vojtěch Káňa

**ID:** 154760

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

### Porovnání vlastností spínaných LED budičů

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se specifiky řízení vysoce svítivých LED a vlastnostmi těchto diod. Prostudujte a teoreticky popište základní obecná zapojení spínaných budičů LED, zejména topologií SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter) a buck-boost. Najděte vhodné integrované obvody pro konstrukci obou typů driverů. Obecně popište vlastnosti IO a specifika návrhu obou struktur. Zvolte typ IO pro budoucí realizaci. Navrhněte kompletní schémata obvodů a desky plošných spojů.

Realizujte oba moduly. Ověřte jejich funkčnost a sadou měření otestujte parametry. Ohodnoťte celkové vlastnosti, porovnejte chování obou struktur a zvažte případná možná vylepšení.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

[2] KREJČIŘÍK, A. DC/DC měniče, Praha 2001.

[3] Melexis Fact Page - Power supply / LED drivers [online]. [cit 15.5.2014]. Dostupné na [www.melexis.com](http://www.melexis.com).

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

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

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

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce pojednává o vlastnostech spínaných LED budičů. Je vybráno a porovnáno pět integrovaných obvodů. Posléze je vybrán jeden z nich, který bude obsažen v topologiích buck-boost a SEPIC. Tyto měniče budou porovnány v simulačním prostředí a dále budou navržena a vyrobena jejich obvodová zapojení. Vyrobena zařízení budou otestována a porovnány jejich dosažené vlastnosti. Oba dva měniče musí splňovat zadané požadavky pro konstantní výstupní proud, napětí na LED a vstupní napětí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Budič, integrovaný obvod, měnič, topologie, spínaný zdroj

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis describes switching LED drivers and their features. Is chosen and compared five integrated circuit, that one of them will be included in two different topologies. Especially in Buck-Boost and SEPIC configuration. Their characteristics and features will be simulated and designed in suitable software. Made equipment will be tested and compared their achievements properties. For a both of these drivers is required specified conditions as constant output current, input and output voltage.

## **KEYWORDS**

Driver, integrated circuit, converter, topology, switch supply



Káňa, V. *Porovnávání vlastností spínacích LED budičů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2014. 38 s., 9 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Porovnávání vlastností spínaných LED budičů 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 vedoucím Bakalářské práce panu doc. Ing. Tomáši Frýzovi, Ph.D. a panu Ing. Josefu Vochyánovi, Ph.D. za metodickou a odbornou pomoc a za další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

# Obsah

<b>Seznam obrázků</b>	<b>ix</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>xi</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Teoretická část</b>	<b>2</b>
1.1 Výhody a nevýhody spínacích měničů .....	2
1.2 Snižující měnič .....	3
1.3 Zvyšující měnič.....	4
1.4 Zvyšující i snižující měnič .....	7
1.5 Zapojení typu SEPIC .....	9
1.6 Parametry jednotlivých integrovaných obvodů .....	11
1.6.1 Integrovaný obvod LT3795 od výrobce Linear Technology .....	11
1.6.2 Integrovaný obvod LM3424 od výrobce Texas Instruments.....	13
1.6.3 Integrovaný obvod MAX16833/MAX16833D od výrobce Maxim Integrated	15
1.6.4 Integrovaný obvod TDL5095EL od firmy Infineon .....	16
1.6.5 Integrovaný obvod TPS92690 od firmy Texas Instruments.....	17
1.7 Zvolení integrovaného obvodu .....	19
<b>2 Praktická část</b>	<b>21</b>
2.1 Výpočet hodnot externích součástek pro topologii Buck – Boost.....	21
2.2 Výpočet hodnot externích součástek pro topologii SEPIC.....	24
2.3 Návrh a výpočet hodnot vstupního LC filtru .....	25
2.4 Výpočet ztrátového výkonu na vybraných součástkách .....	26
2.5 Výběr a dimenzování součástek .....	27
2.6 Simulace v prostředí PSpice topologie Buck-Boost .....	28
2.7 Návrhy desek plošných spojů a rozložení součástek .....	31
2.8 Oživení a jednotlivá měření obvodu.....	31
2.8.1 Měření účinnosti .....	32
2.8.2 Ověření spínání tranzistoru.....	35
<b>3 Závěr</b>	<b>38</b>

<b>Literatura</b>	<b>39</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>41</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma snižujícího měniče .....	3
Obr. 2: Snižující měnič, spínač sepnut .....	4
Obr. 3: Snižující měnič, spínač rozepnut .....	4
Obr. 4: Schéma zapojení zvyšujícího měniče .....	5
Obr. 5: Zvyšující měnič, spínač sepnut.....	6
Obr. 6: Zvyšující měnič, spínač rozepnut .....	6
Obr. 7: Schéma měniče typu Buck-Boost.....	7
Obr. 8: Buck-Boost, spínač sepnut .....	8
Obr. 9: Buck-boost, spínač rozepnut .....	8
Obr. 10: Schéma zapojení typu SEPIC .....	9
Obr. 11: SEPIC, spínač sepnut.....	10
Obr. 12: SEPIC, spínač rozepnut .....	10
Obr. 13: Vzhled IO LT3795 .....	12
Obr. 14: Zapojení typu SEPIC s LT3795 .....	13
Obr. 15: Vzhled IO LM3424 .....	14

Obr. 16: Zapojení typu Buck-Boost s LM3424 .....	14
Obr. 17: Vzhled IO MAX16833 .....	15
Obr. 18: Zapojení typu Buck-Boost s MAX16833 .....	16
Obr. 19: Zapojení typu SEPIC s TLD5095 .....	17
Obr. 20: Vzhled IO TLD5095 .....	17
Obr. 21: Zapojení typu SEPIC s TPS92690 .....	18
Obr. 22: Vzhled IO TPS92690 .....	18
Obr. 23: Blokové schéma MAX16833 .....	20
Obr. 24: Průběh proudu cívkou L1 .....	29
Obr. 25: Průběhy napětí na vstupní bráně MOSFETu a výstupního proudu .....	30
Obr. 26: Graf závislosti účinnosti na vstupním napětí .....	33
Obr. 27: Graf závislosti účinnosti na vstupním napětí .....	35
Obr. 28: Průběh napětí $U_{gs}$ , Buck - Boost .....	36
Obr. 29: Průběh napětí $U_{gs}$ , SEPIC .....	36

# SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Veličiny naměřené při zapojení Buck – Boost..... 32

Tab. 2: Veličiny naměřené při zapojení SEPIC..... 34

# ÚVOD

V poslední době do popředí dostávají převážně LED diody, a to ve většině odvětví průmyslu, kde se řeší osvětlení. Mají totiž nezměrné výhody oproti klasickým žárovkám, či jinému zdroji světla. Mezi hlavní příčiny jejich oblíbenosti patří spolehlivost a poměrně slušná odolnost. Díky tomu se životnost LED pohybuje v řádu desítek tisíc hodin. Neměla by se rovněž opomenout vysoká efektivita a požadování vyššího výkonu. Tyto stále zvyšující se požadavky se hojně uplatní v automobilovém průmyslu. Zde už u některých typů automobilů LED zastávají funkci hlavních světlometů díky sdružením několika LED na jedné destičce o rozměrech několika milimetrů. Aby však byly dosaženy a užity výše uvedené výhody, je kladen velký důraz na LED budiče, které jsou hlavním stavebním prvkem celé této soustavy osvětlení. Jim bude hlavně věnována veškerá pozornost v této práci. [1]



# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Téma této práce je zaměřeno na spínané LED budiče s konkrétními topologiemi SEPIC a Buck – Boost. Jedná se o DC/DC měniče, jejichž hlavním úkolem je transformovat vstupní stejnosměrné napětí na stejnosměrné výstupní napětí jiné hodnoty. Kvůli spínání a rozepínání spínače je energie předávána do zátěže po částech. Jedná se tedy o nespojitou regulaci.

Celkový obvod se skládá ze silové (výkonové) a řídicí části. Řídicí část poskytuje integrovaný obvod. Zařazení vhodně vybraného integrovaného obvodu ovlivní účinnost celého měniče a měl by zaručit jeho správný chod. Integrovaný obvod poskytuje pulzně šířkovou modulaci pro regulaci jasů LED, ochranu proti zkratu, či přehřátí a mnoho dalších užitečných vlastností. Výkonová část se většinou skládá z kondenzátorů, tlumivek (v textu jsou na místo tlumivek uvedeny cívky) a různé polovodičové prvky. Akumulační prvky, např. indukčnost a kapacita, jsou důležitou součástí hlavní sekce spínaných budičů. Jejich účel spočívá ve vyhlazení výstupního napětí nebo proudu a v akumulaci energie v době rozepnutí spínače, kterou dodávají do zátěže. Dále určují důležité vlastnosti obvodu, jako přenášený výkon, kmitočet spínání a zvlnění výstupního napětí.

Obrázky v kapitole Teoretické části byly vytvořeny ve volně dostupném programu ProfiCAD a slouží pro pochopení základních zapojení měničů. Směr proudů je vyznačen přerušovanou čarou a směr napětí dokumentují spojitě čáry.

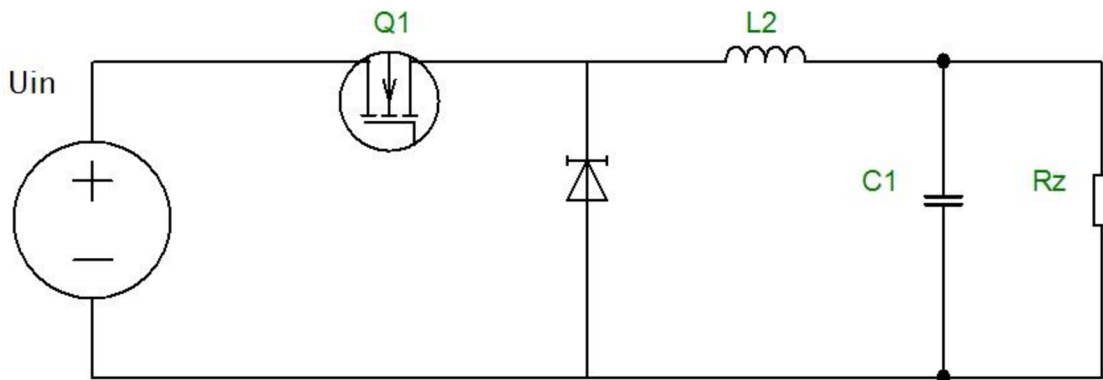
## 1.1 Výhody a nevýhody spínacích měničů

Obrovskou výhodou spínacích zdrojů je v podstatě jejich účinnost a to i při malých výkonech, váha a rozměry. Jelikož samostatný návrh spínacích zdrojů bývá zpravidla složitější, oblíbenost a využití těchto měničů poslední roky výrazně roste. Jeden z nejzákladnějších parametrů spínacích zdrojů, je jeho spínací kmitočet. Zpravidla se požaduje dosáhnout, co nejvyšší hodnoty tohoto provozního kmitočtu. Vyplývá to z přenosu energie ze vstupu na výstup, kdy velikost přenesené energie je úměrná provoznímu kmitočtu [2]. Nicméně z tohoto požadavku také plynou nevýhody spínacích zdrojů. Například při vyšší pracovní frekvenci má za následek většího počtu sepnutí a rozepnutí polovodičových spínačů za jednotku času. Tudiž zde dochází k navýšení ztrátového výkonu, který se mění na teplo a tím pádem klesá účinnost. Spolehlivost součástek je podmíněna kvalitou jejich zhotovení, která se následně projeví ve zvýšení jejich prodejní ceny. Je taktéž nutné zvážit možná chlazení spínacích tranzistorů. Další nepříznivý efekt vzniká při rozpínání indukčních zátěží. Vzniklé přepětíové špičky představují ztráty v obvodu. Zde jejich velikost roste lineárně se zvyšujícím se spínacím kmitočtem. Ve výsledku mají výše uvedené výhody a nevýhody poukázat na kompromis pro zvolení optimální velikosti spínací frekvence. Dolní limit by měl být nad úrovní slyšitelnosti. Tedy nad 25 kHz. Horní hranice je limitována účinností a vlastností jednotlivých součástek. V současnosti se pro tuto úroveň spínací frekvence pohybuje v jednotkách megahertzů [2].

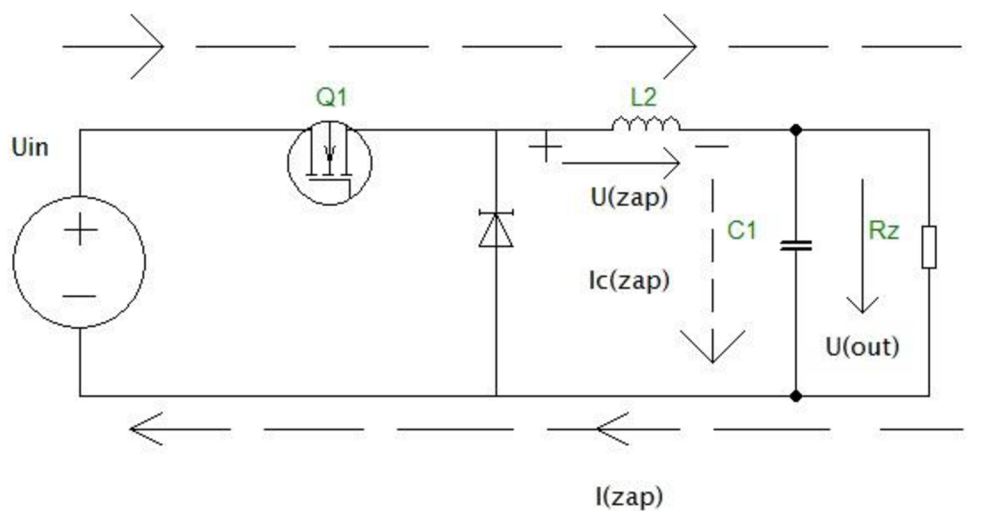
## 1.2 Snižující měnič

Základní definice DC/DC měniče řeší, jestli je jeho výstupní napětí vyšší či nižší než vstupní napětí. Pokud je tedy výstupní napětí menší oproti vstupnímu napětí, jedná se o konverzi dolů. V anglosaské literatuře označováno jako Step – Down nebo Buck. Schéma zapojení Buck je uvedeno na obr 1. Tento jednoduchý obvod se skládá ze zdroje, spínače (většinou tranzistor typu MOSFET), diody, cívky, kondenzátoru a zátěže. Výhoda tohoto zapojení je jeho nízká cena a z prvního pohledu jeho jednoduchost. Nevýhodou je jeho omezený rozsah výkonu a galvanické propojení vstupu a výstupu. Taktéž tu hrozí zničení spínacího tranzistoru, pokud proběhne zkrat na výstupu.

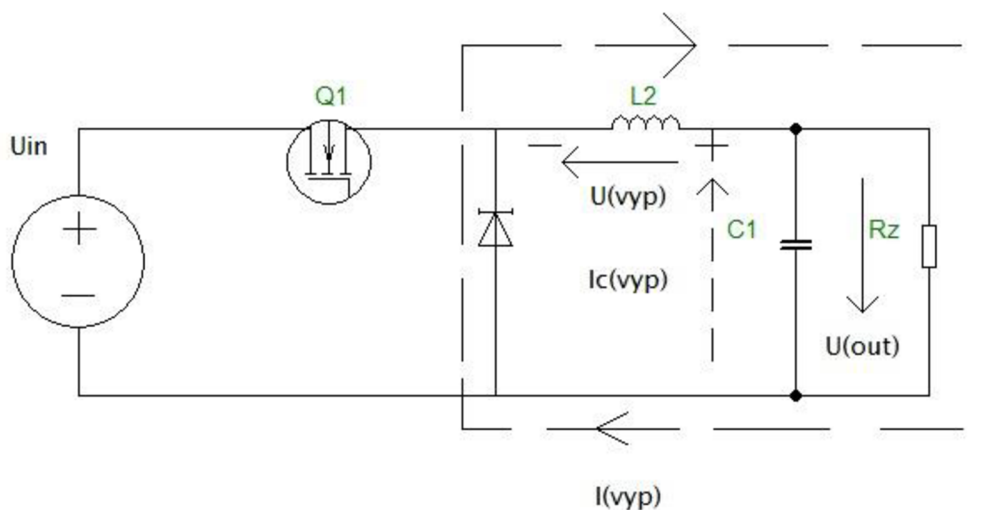
Celkový cyklus se skládá ze dvou částí, kdy je sepnut či rozepnut spínač, jak je naznačeno na obr 2. Při sepnutí tranzistoru je proud veden od zdroje do zátěže. Cívka se nabíjí a chová se jako spotřebič, napětí na ní je stejně orientováno jako proud. Znamená to, že výstupní napětí roste, stejně tak roste i napětí na kondenzátoru, který je nabíjen proudem. Ve druhém cyklu se tranzistor rozepne a zdrojem napětí se stává cívka, situaci popisuje obr. 3. Napětí na cívce má obrácenou polaritu než v prvním cyklu. Celkový proud teče opět do zátěže a je uzavřen přes diodu. Polarita celkového proudu zůstává stejná. Změnil se ale smysl proudu v kondenzátoru, který podporuje celkový proud tekoucí do zátěže. Důsledkem toho je růst kapacity kondenzátoru a zmenšování výstupního zvlnění [2].



Obr. 1: Schéma snižujícího měniče [2]



Obr. 2: Snižující měnič, spínač sepnut [2]



Obr. 3: Snižující měnič, spínač rozeprt [2]

### 1.3 Zvyšující měnič

Zvyšující měnič neboli Step up, taktéž může nést označení Boost, má výstupní napětí vyšší, než napětí vstupní. Tedy konverze nahoru. Na obr. 4 je typické zapojení neizolovaného zvyšujícího měniče. Pojem nepřímý přenos energie ze vstupu na výstup znamená, že energie je akumulována v magnetickém poli cívky. V první fázi se cívka chová jako spotřebič, ve druhé fázi jako zdroj energie. Výhody zvyšujícího měniče tkví opět v jednoduchosti, nízké ceně a také možnost navýšení napětí na výstupu oproti vstupu, aniž by se uplatnil transformátor v obvodovém zapojení. Nevýhody jsou stejné

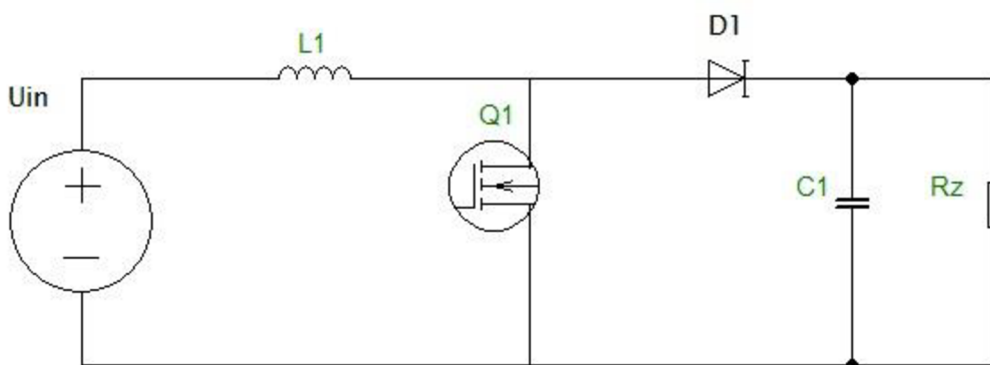
jako u snižujícího měniče. Zvyšující měnič nedokáže pracovat s vysokými výkony a při malých hodnotách střidy spínaného tranzistoru Q1 nastává vysoké výstupní zvlnění.

Činnost zvyšujícího měniče je následující. V první fázi je sepnut spínač (tranzistor Q1) a proud  $I_{zap}$ , který protéká cívku L1 a tranzistorem Q1 roste. Schéma je na obr. 5. Do magnetického pole cívky je tímto proudem akumulována energie. Jak je už výše uvedeno, cívka L1 se chová jako spotřebič a napětí  $U_L$  na ní je ve stejném smyslu jako proud  $I_{zap}$ . Dioda D1 v tomto cyklu zabraňuje vybíjení kondenzátoru C1 přes tranzistor Q1. Ve druhé fázi se rozeptne tranzistor a cívka se začne chovat jako zdroj. Zdroj napájecího napětí  $U_{in}$  a cívka jsou sériově propojeny. Proud teče přes cívku do zátěže a do kondenzátoru C1. Vše je názorně uvedeno na obr. 6.

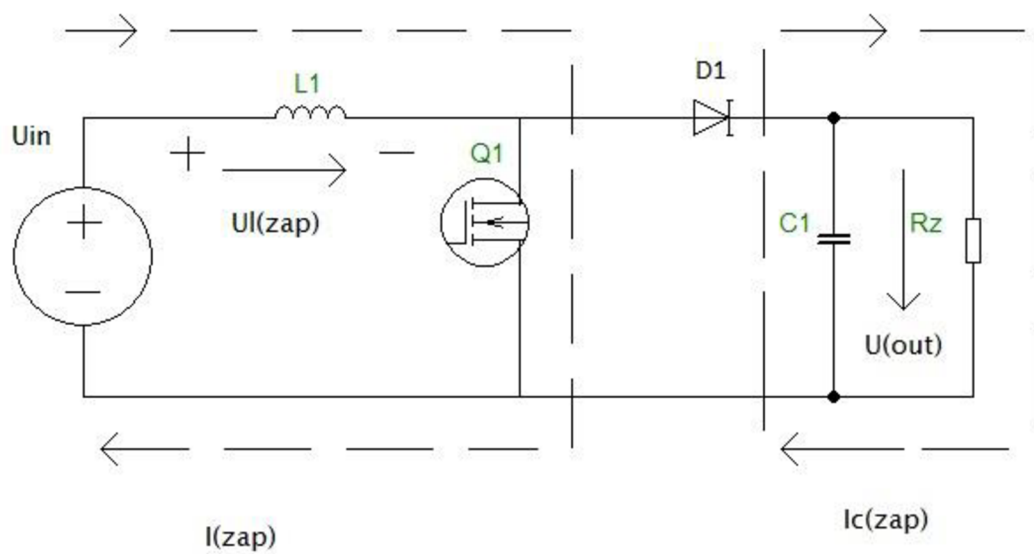
Výstupní napětí  $U_{out}$  nikdy nepoklesne pod hodnotu vstupního napětí  $U_{in}$ , protože spodní limitou výstupního napětí je právě napětí vstupní. Tento fakt dokazuje rovnice [2]

$$U_{out} = U_{in} + U_L - U_f - U_{ces}, \quad (1.1)$$

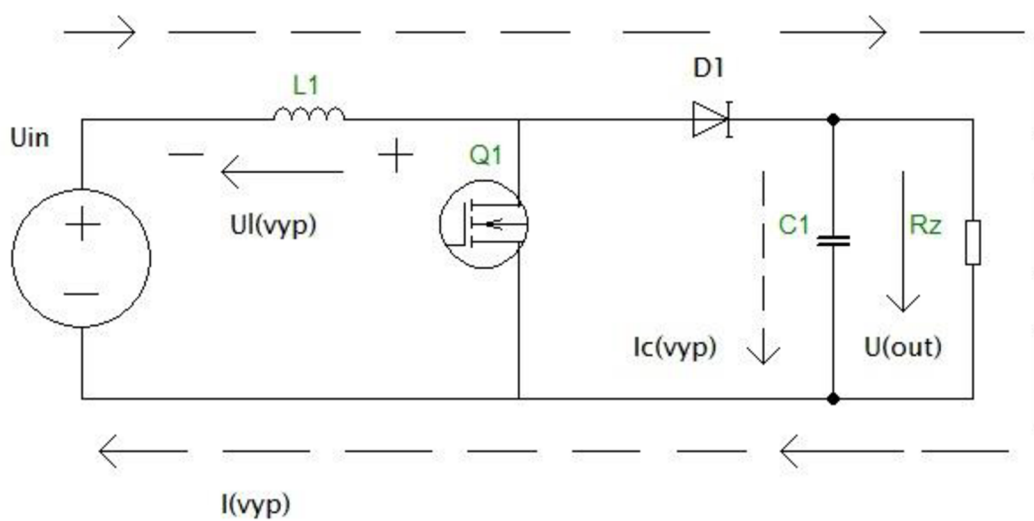
kde  $U_{ces}$  je hodnota napětí na tranzistoru Q1 při maximálním protékajícím proudu tranzistorem.  $U_f$  značí propustné napětí na diodě D1. V první fázi (tranzistor je sepnut) kondenzátor C1 dodává proud do zátěže. Proud z kondenzátoru klesá stejně jako jeho napětí a kondenzátor se vybíjí. Dioda je polarizována v závěrném směru a výstupní napětí  $U_{out}$  bude vždy vyšší než napětí  $U_{ces}$  na tranzistoru. V dalším cyklu se z cívky L1 stává zdroj a napětí na ní má jinou polaritu, než proud protékající cívku. Napětí  $U_L$  se sčítá se vstupním napětím  $U_{in}$  a dioda D1 se otevírá. Proud  $I_c$  dobíjí kondenzátor C1 a taktěž roste napětí jak na kondenzátoru, tak i na zátěži  $R_z$  [2].



Obr. 4: Schéma zapojení zvyšujícího měniče [2]



Obr. 5: Zvyšující měnič, spínač sepnut [2]

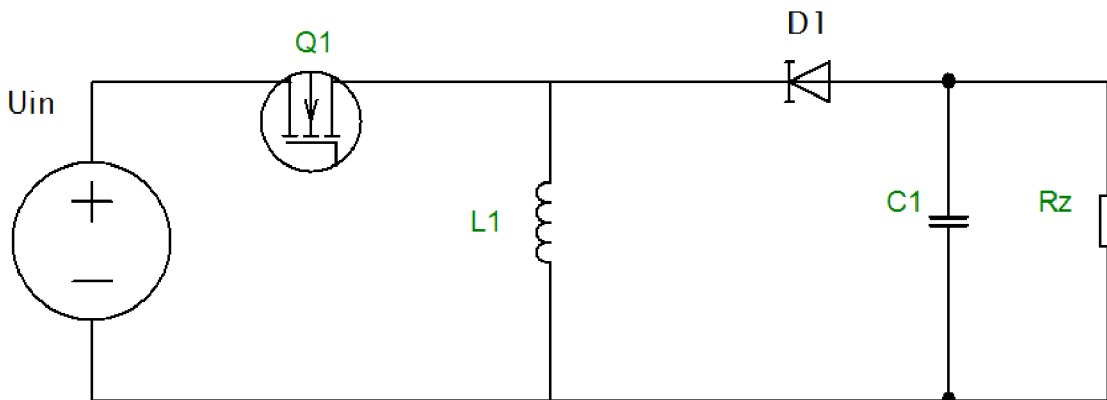


Obr. 6: Zvyšující měnič, spínač rozepnut [2]

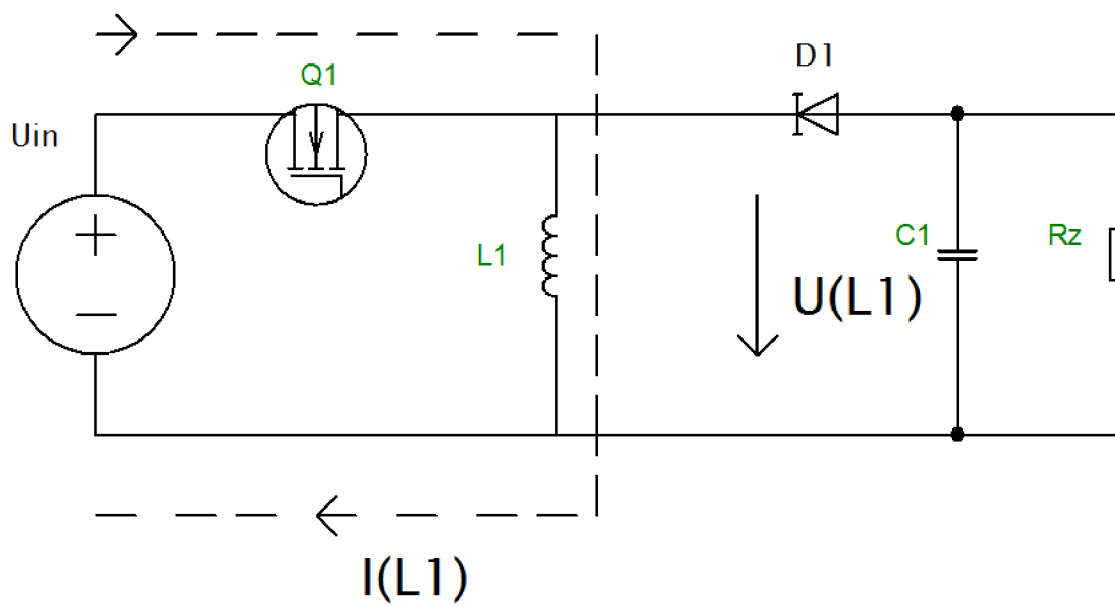
## 1.4 Zvyšující i snižující měnič

Taktéž se toto zapojení nazývá invertující zapojení či Buck – Boost měnič. Označení „cuk“ je velmi obdobné zapojení, lišící se jen s umístěním dvou cívek v obvodu. Zde bude popsáno jednoduché zapojení s jednou cívkou. Tento měnič umí zvýšit, snížit, nebo udržet konstantní výstupní napětí za předpokladu, že vstupní napětí může dosáhnout vyšší, nebo nižší hodnoty než napětí výstupní. Tato skutečnost se uplatní například při vybíjení napájecího akumulátoru. Zpočátku je jeho vstupní napětí  $U_{in}$  vyšší, posléze nižší než výstupní napětí  $U_{out}$ . Tedy v prvním případě pracuje jako snižující měnič, ve druhém jako zvyšující. Zapojení tohoto měniče má za následek inverze výstupního napětí, oproti vstupnímu napětí. Obecné zapojení je znázorněno na obr. 7.

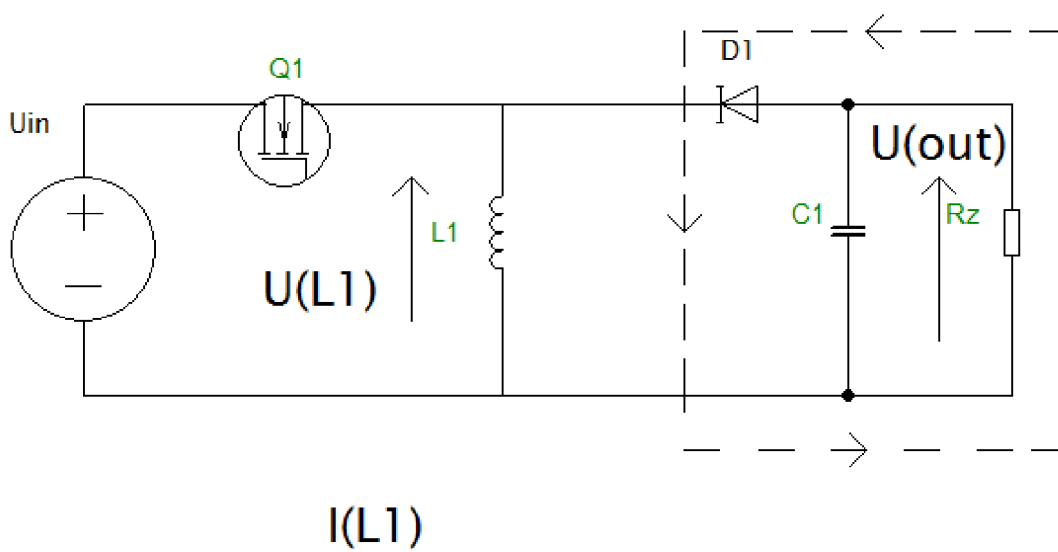
Pracovní režim je opět rozdělen do dvou intervalů na základě spínání tranzistoru Q1. V tom prvním, kdy je tranzistor sepnut, protéká proud ze zdroje přes tento, právě sepnutý tranzistor Q1 a přes cívku L1. Proud  $I_{L1}$  lineárně roste. Demonstruje to obr. 8. Cívka se opět, jako v předchozích zapojeních, chová jako spotřebič a napětí na ní je ve stejném smyslu jako protékající proud  $I_{L1}$ . Do zátěže teče proud z kondenzátoru C1, který se vybíjí, a tak napětí na zátěži v této fázi klesá. Při rozepnutí tranzistoru Q1 se cívka L1 začne chovat jako zdroj a směr napětí  $U_{L1}$  je opačně polarizováno než proud  $I_{L1}$  protékající touto cívkou. Tento proud má stejný směr jako v minulé fázi a protéká přes zátěž  $R_z$  a diodu D1. Zároveň se kondenzátor C1 dobíjí a výstupní napětí  $U_{out}$  na zátěži roste. Toto zapojení zobrazuje obr. 9 [2].



Obr. 7: Schéma měniče typu Buck-Boost [2]



Obr. 8: Buck-Boost, spínač sepnut [2]



Obr. 9: Buck-Boost, spínač rozeprnut [2]

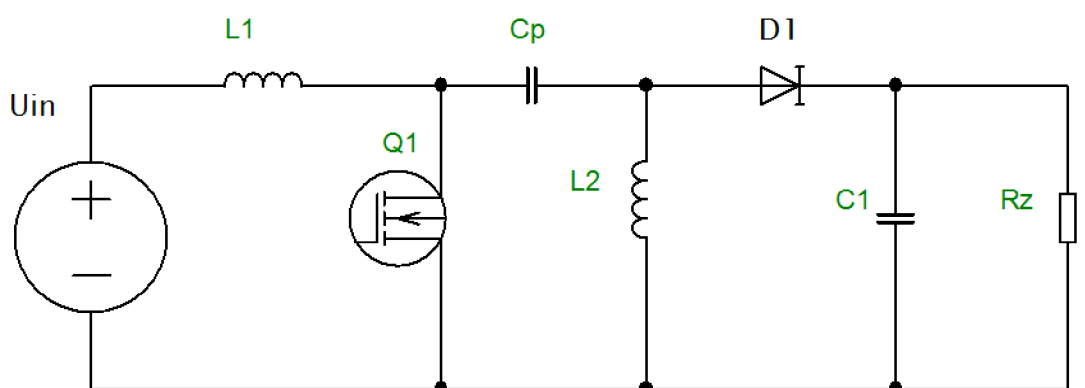
## 1.5 Zapojení typu SEPIC

Zapojení typu SEPIC (single- ended primary- inductor converter) je velmi obdobné jako zapojení typu Buck – Boost. Měnič pracuje tedy jak ve snižujícím, tak ve zvyšujícím stavu. Rozdíl se nachází v užití dvou cívek, které mohou mít společné jádro a také v tom, že výstupní napětí je stejně polarizované, jako napětí vstupní. Nejedná se tedy o invertující zapojení. Při užití správné střídavy může mít vstupní proud teoreticky nulové zvlnění a vstupní kondenzátor (vstupní filtr) může významně potlačit elektromagnetické rušení. Nevýhodou je velké proudové namáhání pracovního kondenzátoru  $C_p$ , proto by se měl tento měnič používat pro nižší výkony. Taktéž je nutno užít malou hodnotu ESR u kondenzátoru  $C_2$ . Průrazné napětí tranzistoru  $Q_1$  (většinou typu MOSFET) a diody  $D_1$  je vyšší než maximální závěrné napětí při sumarizaci hodnot vstupního a výstupního napětí. Další nevýhodou je vysoký proud tekoucím tranzistorem  $Q_1$ , pro stejný výstupní výkon. Velkou výhodou tohoto zapojení je vysoká teoretická účinnost. Díky procházejícímu proudu přes pracovní kondenzátor  $C_p$  jsou potlačeny napěťové špičky a možné nežádoucí rezonance, které může způsobit spínač, konkrétně tranzistor  $Q_1$ . Obecné zapojení je zobrazeno na obr. 10.

Pracovní režim měniče typu SEPIC se skládá ze dvou cyklů. Při prvním je tranzistor  $Q_1$  sepnut, jak je zobrazeno na obr. 11, vstupní proud teče přes cívku  $L_1$  a přes sepnutý tranzistor. Do elektromagnetického pole cívky se akumuluje energie. Proud teče rovněž i přes cívku  $L_2$  a kondenzátor  $C_2$ . Celkový proud na tranzistoru je roven proudům protékajícím oběma cívkami, jak je matematicky vyjádřeno v rovnici (1.2) [3].

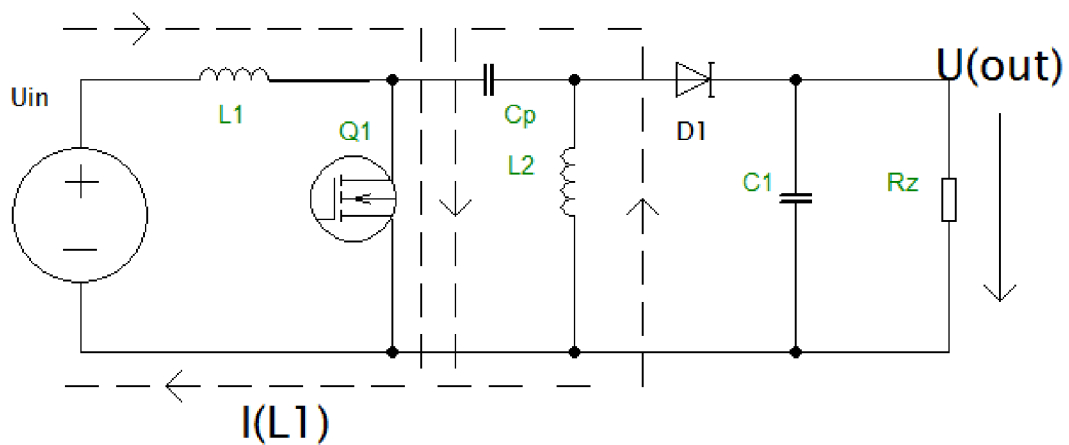
$$I_{q1} = I_{L1} + I_{L2}, \quad (1.2)$$

kde  $I_{q1}$  je proud tekoucím tranzistorem  $Q_1$  a proudy  $I_{L1}$  a  $I_{L2}$  jsou proudy protékající cívkami  $L_1$  a  $L_2$ . Ve druhé fázi se tranzistor  $Q_1$  rozezne a energie akumulovaná v elektromagnetických polích cívek  $L_1$  a  $L_2$  se začnou ukládat do kondenzátorů  $C_p$  a  $C_2$ . Taktéž je energie předána na zátěž. Proudů  $I_{L1}$  a  $I_{L2}$  protékají těmito prvky, jak je přerušovanými šipkami naznačeno na obr. 12.

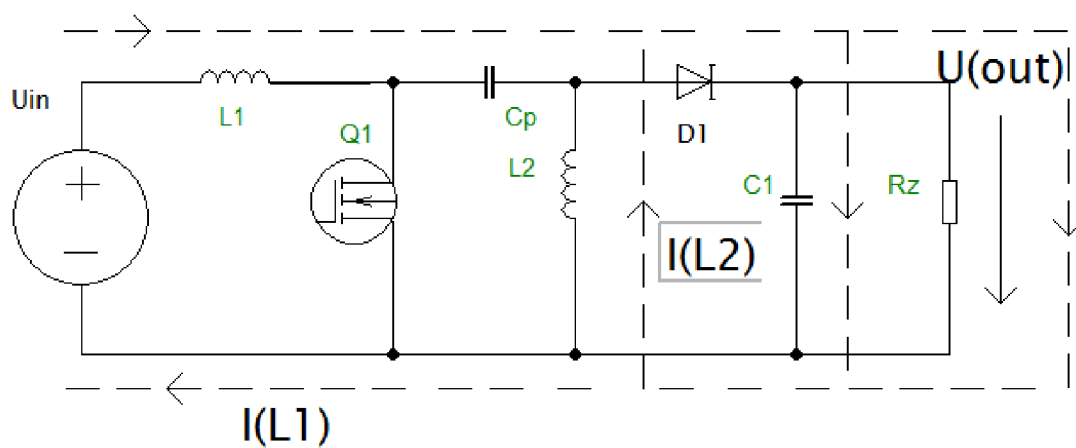


Obr. 10: Schéma zapojení typu SEPIC [11]





Obr. 11: SEPIC, spínač sepnut



Obr. 12: SEPIC, spínač rozeprnut

## 1.6 Parametry jednotlivých integrovaných obvodů

V této části bude uveden stručný rozbor pěti vybraných integrovaných obvodů. Jak již bylo výše zmíněno, integrovaný obvod představuje logickou neboli řídicí část měniče. Proto vhodný výběr integrovaného obvodu zajistí správný chod celého budiče a měl by tedy podporovat danou topologii, v tomto případě zapojení typu Buck – Boost a SEPIC. Dále musí zajistit konkrétní požadavky týkající se výstupu na zátěži. Tedy v této práci slouží jako tzv. „led driver.“ Musí dodávat proud dané hodnoty a udržet zvolené napětí na diodách. Zajišťuje přepětíovou a podpětíovou ochranu a mnoho dalších funkcí. Při výběru vhodného integrovaného obvodu musí být zohledněny jeho vlastnosti a požadavky pro konkrétní obvod. To ovšem nemusí být až tak jednoduché. Při využití všech funkcí, většinou pomocí externích pasivních prvků, vzniká ztrátový výkon právě na těchto prvcích a tím klesá účinnost celého měniče. A právě dosažení co největší hodnoty účinnosti je téměř hlavní cíl u návrhu. Stejně tak pro potlačení elektromagnetického rušení se musí použít různé analogové odrušovací filtry, skládající se z pasivních součástek. Taktéž by se neměly opomenout nelineární prvky a s tím problém vyšších harmonických nežádoucích signálů. Elektromagnetické rušení se týká rychle spínaných tranzistorů a diod. Použití filtru může mít nepříznivý efekt na celkovou účinnost měniče. Při zvolení spínací frekvence, která by teoreticky měla být co největší, se musí brát ohled na jakost jednotlivých prvků v obvodu. Jde tedy o jistý kompromis při výběru a zohledňování funkcí daných integračních obvodů. Co všechno lze použít ke správnému chodu a jak dosáhnout těch nejlepších výsledků. Samozřejmě zde hraje důležitou roli i celková cena měniče, jež nemůže být v praxi opomenuta.

### 1.6.1 Integrovaný obvod LT3795 od výrobce Linear Technology

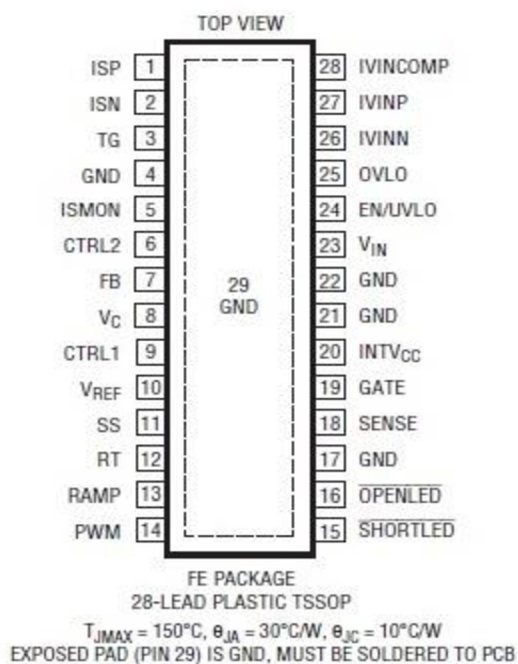
Jedná se o vhodný integrovaný obvod pro řízení LED díky konstantnímu napětí a proudu dodávaných do zátěže. Doporučuje se pro vysoko napětíový zdroj pro LED, nabíječ baterie nebo jako proudový regulátor. Podporuje topologie boost, buck - boost a SEPIC. Roli spínače tu zastává tranzistor typu N- kanál MOSFET. Tento tranzistor je externí. To znamená, že se nachází mimo tento integrovaný obvod. Výhoda externích tranzistorů spočívá ve chlazení. Při použití většího pouzdra se dobře odvádí teplo. Výhodou tohoto integrovaného obvodu je možnost modulace rozprostření frekvenčního spektra. Každý vysokofrekvenční systém vydává elektromagnetické rušení. Dochází tu k pronikání dalších harmonických složek signálu. Zde je vnitřní spínací frekvence rozprostřena až o 70 procent původní hodnoty. Tuto funkci zajišťuje kondenzátor správné hodnoty připojený k pinu RAMP. Výstupní napětí a proud lze nastavit rezistory. Stejně tak lze nastavit spínací frekvenci podle potřeby. Obvod mimo jiné obsahuje ochranu proti podpětí a přepětí, měkký start a možnost digitálně regulovat PWM. Kontrola proudu ovlivňující jas LED zajišťuje P- kanálový MOSFET. Tento integrovaný obvod obsahuje celkem 28 vývodů (pinů). Zemní 29. pin je plošně rozšířený, vyskytující se pod tělem obvodu. Díky své velké ploše funguje jako chladič integrovaného obvodu. Aby byla zaručena jeho správná funkce, musí se spojit se zemí plošného spoje. Není důležité uplatnit všechny vývody, záleží na návrháři a požadovaných výstupních parametřích. Neužité vývody se zpravidla propojí se zemí.

V katalogovém listu [4] jsou veškeré informace týkající se integrovaného obvodu, návrhové rovnice externích prvků pro potřebné hodnoty na výstupu, graficky vyjádřené

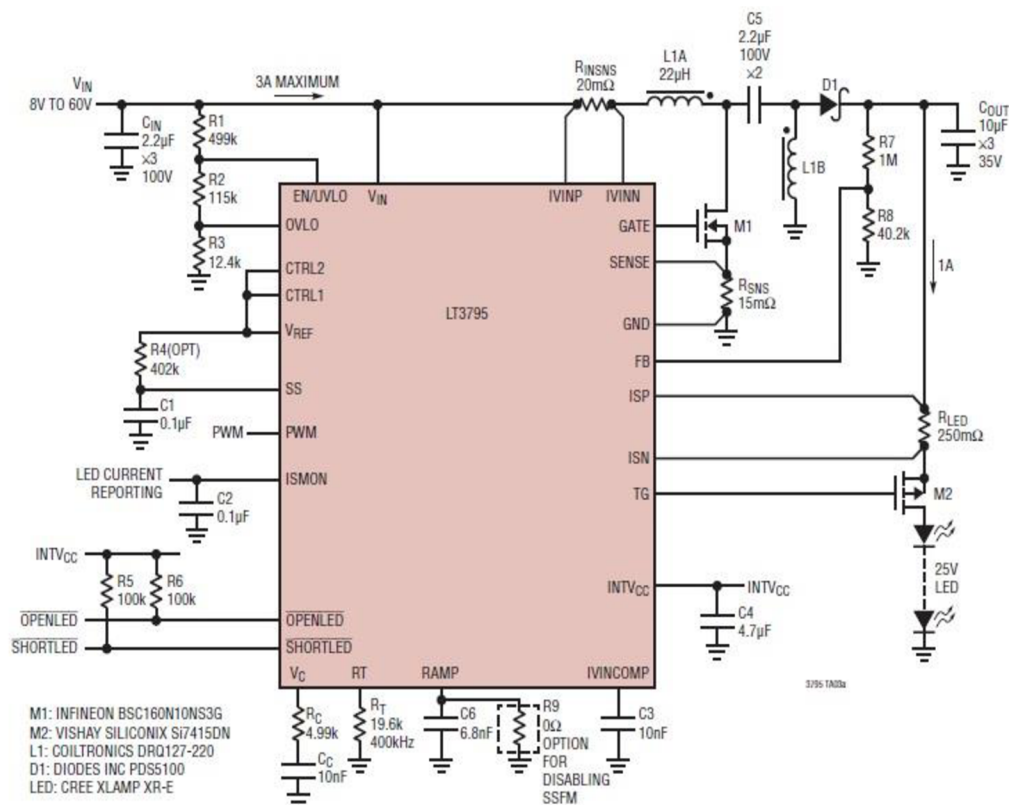
závislosti jednotlivých parametrů a důležité rady a informace ohledně návrhu plošného spoje. Výrobce na svých webových stránkách nabízí makromodel tohoto integrovaného obvodu. Celkové zapojení pak lze simulovat v programu LTspice. Tento program je volně dostupný ke stažení z internetových stránek [5]. Níže uvedené obr. 13 a obr. 14 jsou převzaty s katalogového listu.

### Základní informace:

- vstupní napětí 4,5 V až 110 V
- rozlišení stmívání jasu 3000:1
- kontrola vstupního a výstupního proudu
- možnost rozprostření frekvenčního spektra uvnitř IO
- možnost nastavení vstupního proudu, spínací frekvence, podpětí s hysterezí
- měkký start



Obr. 13: Vzhled IO LT3795 [4]



Obr. 14: Zapojení typu SEPIC s LT3795 [4]

## 1.6.2 Integrovaný obvod LM3424 od výrobce Texas Instruments

Tento LED kontrolér je vhodný pro zapojení typu Buck, Boost, Buck – Boost a SEPIC. Obvykle se využívá v zapojení pro vnitřní i venkovní osvětlení, osvětlení pro automobilový průmysl, a také jako proudový regulátor. Výhody tohoto obvodu spočívají v možnosti nastavení jednotlivých funkcí, užitečných pro správnou činnost měniče. Nabízí se tu nastavení ochrany proti přehřátí, nastavení spínací frekvence nebo možnost zvolit si parametry měkkého startu. Nabízí se možnost analogově, nebo digitálně řídit na LED. Integrovaný obvod obsahuje 20 vývodů, přičemž je zde vestavěná zemnicí ploška pro lepší chlazení. Rušení je zde do určité míry potlačeno pomocí špičkového proudového módu, jak uvádí katalogový list [6]. Tam jsou také jasně a přehledně uvedeny návrhové rovnice, pro různý typ zapojení. Výrobce na svých stránkách odkazuje na soubory, podporující návrh zapojení a dále je tu možnost online simulace zapojení. Uvedené obr. 15 a obr. 16 představují typické zapojení a vzhled čipu.

### Základní informace:

- rozsah vstupního napětí 4,5 V až 75 V
- N- kanálový MOSFET pro řízení LED
- ochrana proti přepětí a podpětí
- možnost synchronizovat spínací frekvenci podle externího signálu
- užití referenčního napětí
- tepelné vypnutí

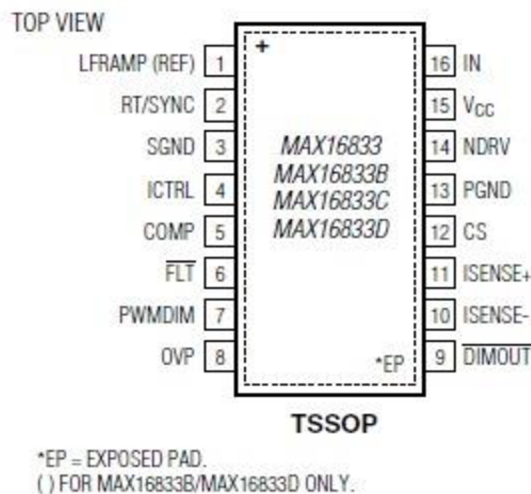


### 1.6.3 Integrovaný obvod MAX16833/MAX16833D od výrobce Maxim Integrated

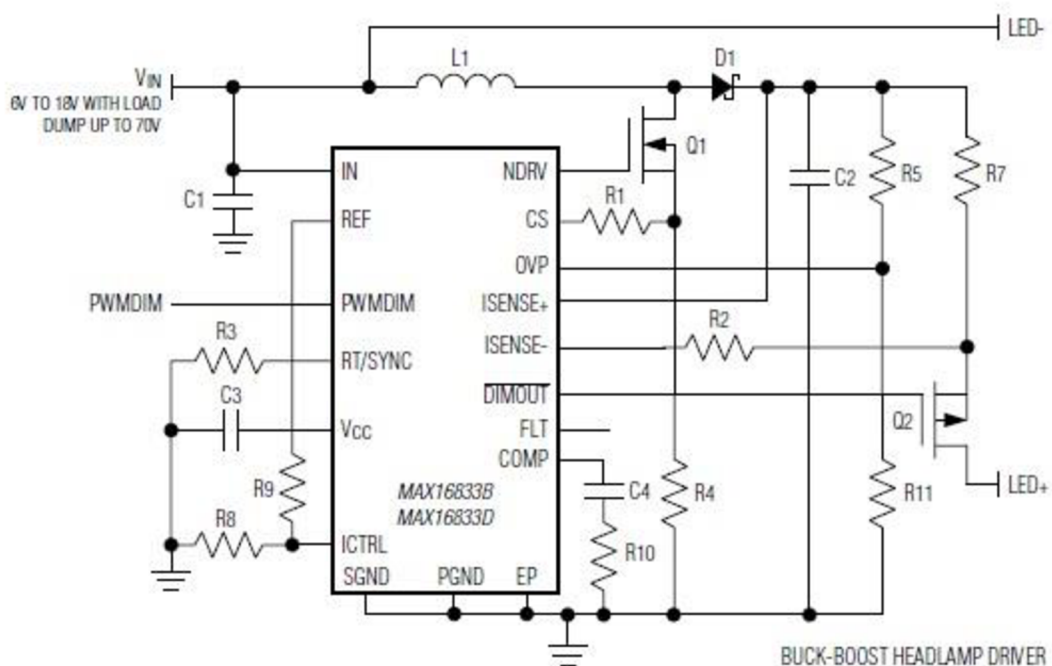
Obvod MAX16833 je díky špičkovému proudovému regulátoru vhodný jako LED driver pro zapojení typu Boost, Buck – Boost, SEPIC a Flyback. Vnější P-kanálový MOSFET zajišťuje širokou škálu rozlišení svítivosti LED. Velkou výhodou tohoto integrovaného obvodu spočívá v možnosti nastavení rozprostřeného frekvenčního spektra k potlačení elektromagnetického rušení. Docílí se toho zapojením rezistoru malé hodnoty mezi vstupy LFRAMP a RT/SYNC. Tuto funkci poskytují pouze MAX16833 a MAX16833C. Podobné MAX16833B a MAX16833D mají místo toho možnost nastavení referenčního napětí. Spínací frekvence se dá jednoduše nastavit buď přes rezistor spojený se vstupem RT/SYNC na zem, nebo pomocí externě hodinového signálu díky kapacitní vazbě. Nabízí se tu možnost digitálního, nebo analogového řízení jasu na LED. Vnější, rychle spínací N-kanálový MOSFET řízený integrovaným obvodem musí pracovat až s 3 ampérovým proudem. Je očividné, že zde dochází k velkému ohřevu, a také možnému elektromagnetickému rušení. Z integrovaného obvodu vyúsťuje 16 vývodů, kde 17. slouží jako chladicí ploška na spodní straně těla. V katalogovém listu [7] je přehledně uvedeno několik nezbytných rovnic pro výpočet jednotlivých externích prvků. Na stránkách výrobce je možnost stažení makromodelu tohoto obvodu a dále souboru pro podrobnější návrh a dimenzování potřebných elektronických součástek. Vzhled integrovaného obvodu a jeho typického zapojení jsou na obr. 17 a obr. 18.

#### Základní informace:

- vstupní napětí o rozsahu 5 V až 65 V
- programovatelnost spínací frekvence od 100 kHz až do 1 MHz
- ochrana proti přehřátí a přepětí
- ukazatel chyby na výstupu
- pracovní teplotní rozsah od -40 °C až do +125 °C



Obr. 17: Vzhled IO MAX16833 [7]



Obr. 18: Zapojení typu Buck-Boost s MAX16833 [7]

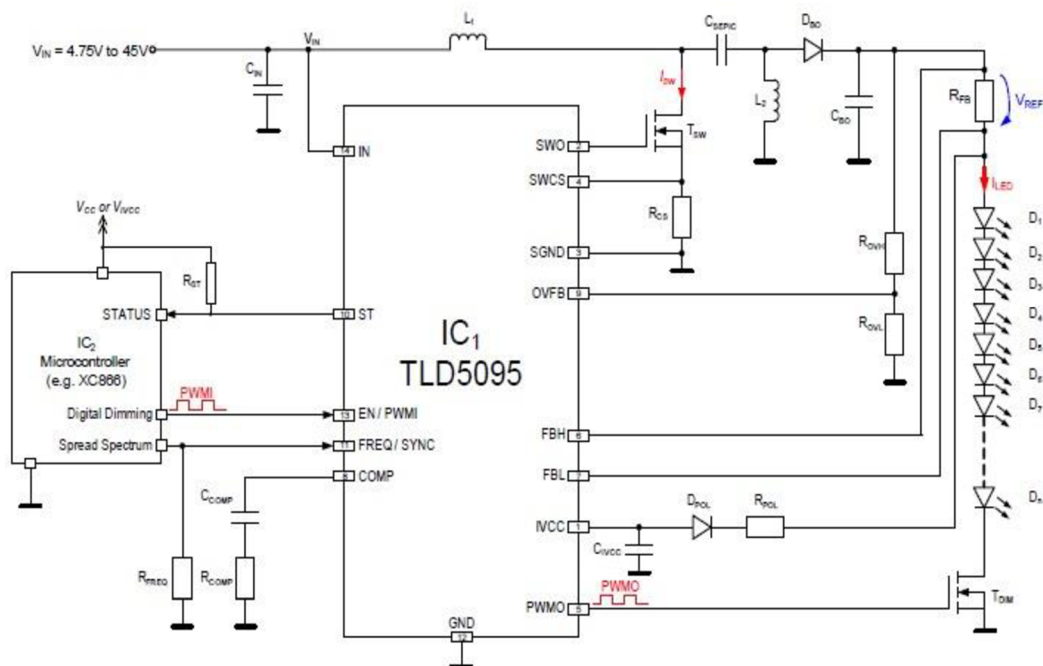
#### 1.6.4 Integrovaný obvod TDL5095EL od firmy Infineon

Jedná se o LED kontrolér podporující Boost, Buck, Buck – Boost, SEPIC a Flyback zapojení. Je určen k regulaci konstantního proudu tekoucího přes LED zátěž. Konkrétní požadované hodnotě proudu se dá docílit pomocí externích součástek. Stejně tak se dá nastavit požadovaná spínací frekvence v rozsahu od 1 kHz až do 500 kHz. Nastavení spínací frekvence se dá uskutečnit i pomocí přivedeného vnějšího hodinového signálu. U TDL5095EL je zajištěna ochrana proti přepětí, přehřátí a vypnutí při nízkém proudu menším jak 10  $\mu\text{A}$ . Integrovaný obvod obsahuje 14 vývodů, přičemž má i plošku na spodní straně určenou pro chlazení po připojení na zem. Použití TDL5095EL v různých zapojeních se dá využít jak pro vnitřní, tak i jako pro vnější osvětlení v automobilovém průmyslu. Další důležité parametry týkající se integrovaného obvodu, tak i jeho návrhu jsou volně dostupné v katalogu uvedeném od výrobce [8]. Na obr. 19 a obr. 20 je znázorněno typické zapojení a vzhled čipu.

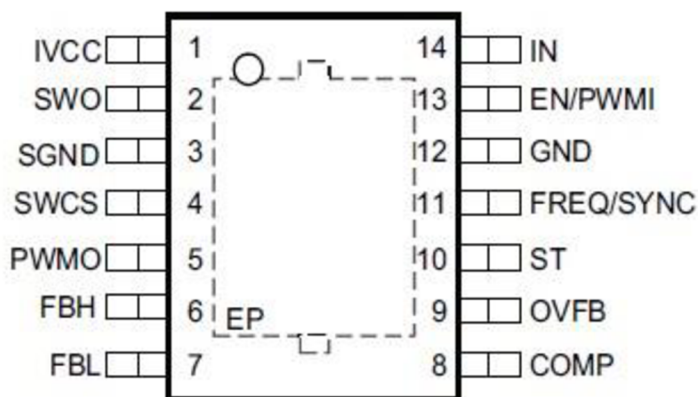
##### Základní informace:

- vstupní napětí od 4,75 V až do 45 V
- měkký start
- PWM stmívání
- regulace konstantního proudu či napětí
- vnitřní 5 V sepnutí napětí





Obr. 19: Zapojení typu SEPIC s TLD5095 [8]



Obr. 20: Vzhled IO TLD5095 [8]

### 1.6.5 Integrovaný obvod TPS92690 od firmy Texas Instruments

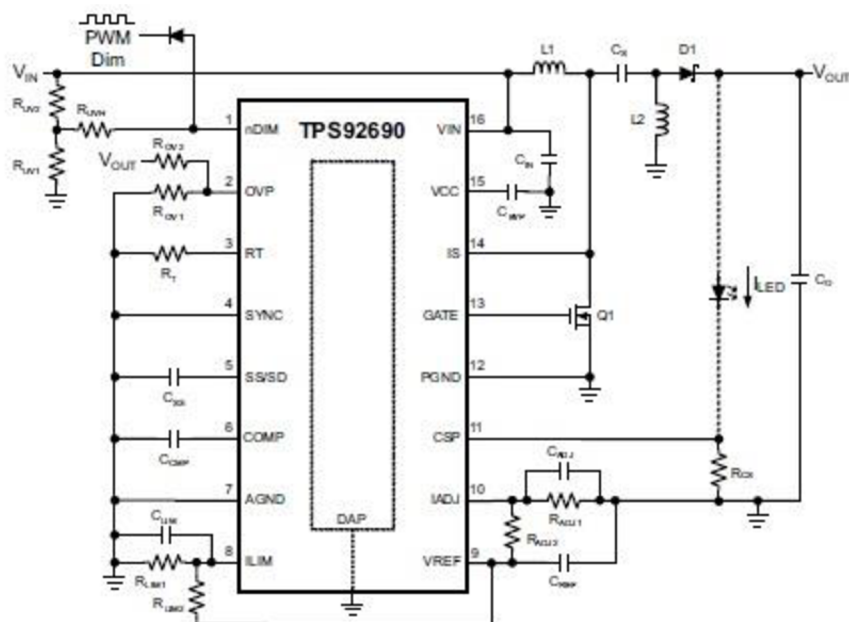
Jedná se o kontrolér vhodný pro řízení LED, podporující Boost, SEPIC, Buck - Boost, Flyback a Cuk topologie. Regulace výstupního proudu je řízena kontrolní smyčkou. Je zde také možnost nastavit proudové snímání na rezistoru. Jako u jiných integrovaných obvodů i zde lze nastavit spínací frekvenci, která se pohybuje v rozmezí od 1 kHz až do 2 MHz. Výrobce přesto doporučuje jako optimální frekvenci kolem 1 MHz pro dosažení nejlepší efektivity. Je zde zaručeno PWM stmívání a přepětová a podpětová ochrana. TPS92690 má 16. vývodů, přičemž 17. slouží pro lepší odvod



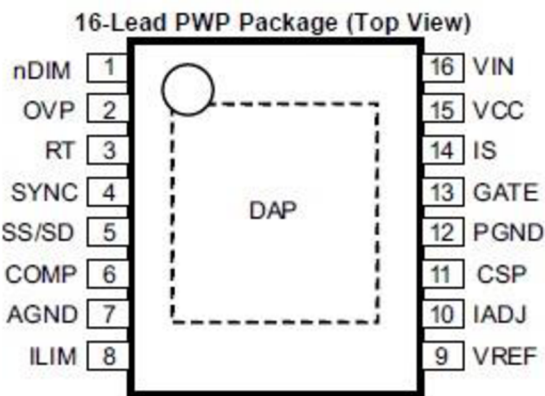
tepla. Pro bližší informace je dostupný katalogový dokument [9]. Obr. 21 a obr. 22 znázorňují celkový vzhled a jedno z možných zapojení celkového měniče.

### Základní informace:

- rozsah vstupního napětí od 4,5 V až do 75 V
- nastavitelný měkký start
- ochrana proti přehřátí
- externí spínací tranzistor



Obr. 21: Zapojení typu SEPIC s TPS92690 [9]



Obr. 22: Vzhled IO TPS92690 [9]

## 1.7 Zvolení integrovaného obvodu

Při výběru vhodného integrovaného obvodu z výše uvedených je nezbytné uvést požadavky pro konkrétní realizaci. Jsou požadována dvě zapojení se stejným integrovaným obvodem. Jedná se o zapojení typu Buck – Boost a SEPIC. Dále vstupní napětí má být 12 voltů, avšak měnič by měl pracovat pro napětí od 9 V, až do 16 V. Proud na zátěži má mít hodnotu 1 ampéru a výstupní napětí bude 15 voltů. Zátěž tvoří LED zapojené v sérii. Pro tyto podmínky byl zvolen integrovaný obvod MAX16833 od firmy Maxim Integrated.

Mezi jeho výhody, oproti některým výše uvedeným integrovaným obvodům, patří možnost rozmitání spínací frekvence a tím rozprostření spektra generovaného rušení (anglicky „frequency dithering“). Rušení má tak menší intenzitu a lépe se stíní. Snížení elektromagnetického rušení je nezbytný požadavek pro každé elektronické zařízení. Po připojení rezistoru a kondenzátoru mezi piny LFRAMP a RT/SYNC se tato funkce uvede v činnost. Platí ovšem jen pro integrované obvody MAX16833 a MAX16833C. Pro MAX16833B a MAX16833D je místo toho zavedeno referenční napětí.

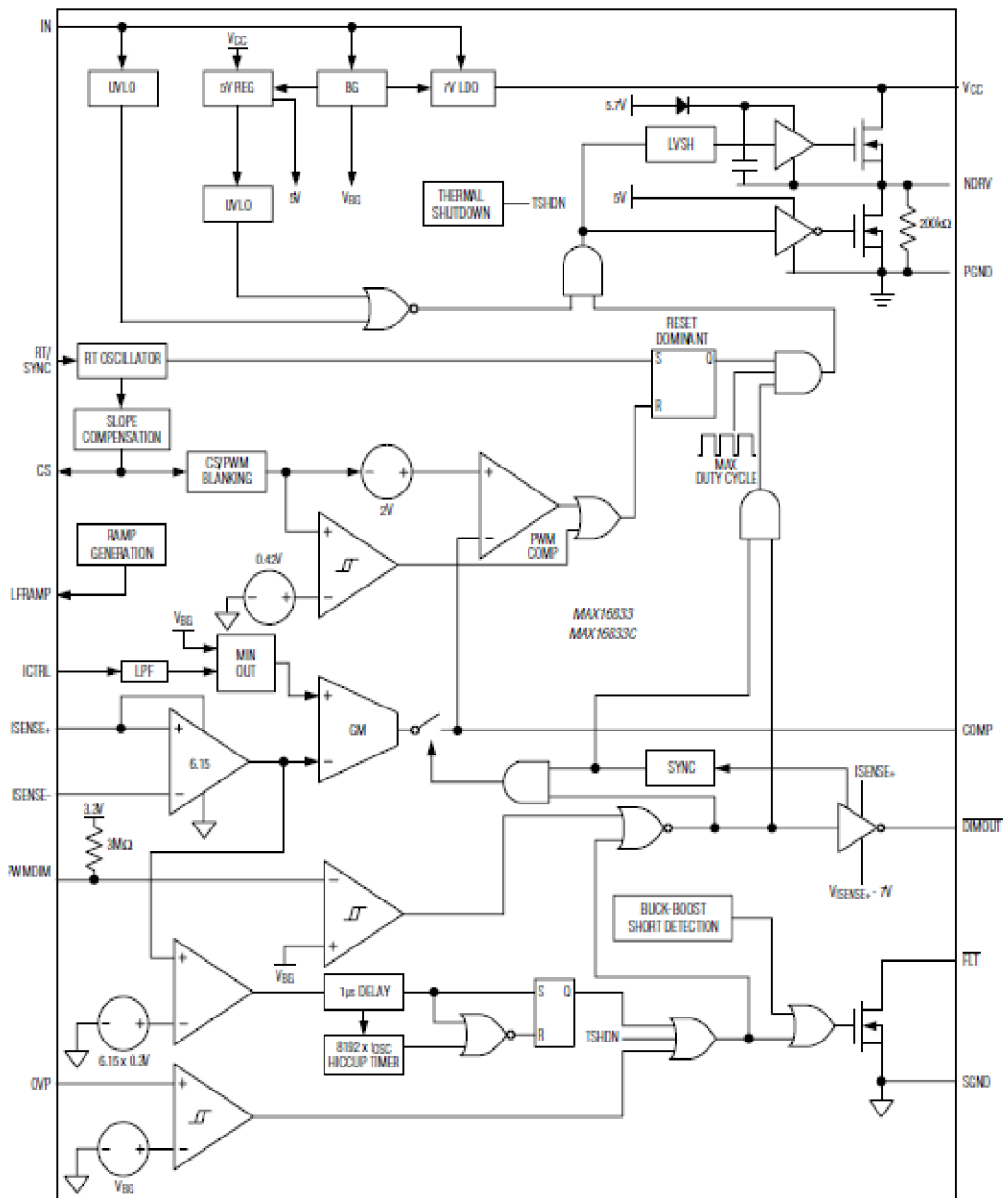
Dále je zde velká výhoda v možnosti analogového (lineárního), nebo digitálního (pomocí PWM) stmívání. V podstatě se jedná o zmenšování střední hodnoty výstupního proudu tekoucím skrze LED. Záleží tak na zákazníkovi jako variantu preferuje pro svoje zapojení. Taktéž je zde ochrana proti přepólování, přepět'ová ochrana a ochrana proti přehřátí. Vývod FLT slouží jako indikátor chyby na výstupu. V katalogovém listu jsou přehledně vysvětleny a objasněny všechny funkce, možnosti zapojení a výpočet součástek potřebné ke správnému řízení integrovaného obvodu. Taktéž je tu odkaz na soubory obsahující parametry čipu, nutné pro vytvoření součástky v programu Eagle, zabývající se návrhu plošného spoje.

Na stránkách výrobce jsou další užitečné dokumenty vztahující se k MAX16833. Zejména makromodel součástky pro simulaci v programu PSpice. Dále je tu uveden soubor pro snadný a rychlý výpočet parametrů cívky, kondenzátorů a rezistorů. Po zadání vstupních či požadovaných hodnot je automaticky vypočítaná hodnota součástky pro návrh měniče. Důležitý je také dokument popisující návrh postupu při použití Buck – Boost topologie [10]. Zde jsou užitečné rady i pro pozdější návrh plošného spoje. Na obr. 23 je znázorněno blokové schéma pro pochopení vnitřní struktury.

### Popis jednotlivých vývodů:

- [1] LFRAMP – nízkofrekvenční trojúhelníkový signál (MAX16833/MAX16833C)  
REF – výstup referenčního napětí (MAX16833B/MAX16833D)
- [2] RT/SYNC – nastavení spínací frekvence přes rezistor, nebo přes kondenzátor při vnějším hodinovém signálu
- [3] SGND – signálová zem
- [4] ICTRL – analogové řízení stmívání
- [5] COMP – kompenzační smyčka
- [6] FLT – indikátor chyby
- [7] PWMDIM – digitální řízení stmívání
- [8] OVP – přepět'ová ochrana na zátěži
- [9] DIMOUT – výstup stmívání na spínač

- [10] ISENSE- proudové snímání zátěže, negativní
- [11] ISENSE+ proudové snímání zátěže, pozitivní
- [12] CS – snímací regulátor proudového snímání
- [13] PGND – výkonová zem
- [14] NDRV – výstup na N – kanálový MOSFET
- [15] Vcc – sepnutí napěťového regulátoru
- [16] IN – napájení integrovaného obvodu
- [17] EP – ploška pro lepší odvod tepla z integrovaného obvodu



obr. 23: Blokové schéma MAX16833 [7]

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

V této kapitole budou postupně řešeny dvě konkrétní topologie z hlediska zapojení celkového měniče, výpočtu vnějších součástek, jejich dimenzování a vyhodnocení simulací, atd. Bude se porovnávat integrovaný obvod MAX16833 v zapojení typu Buck – Boost a SEPIC při vstupním napětí 12 V, přičemž měnič musí splňovat funkci v rozmezí od 6 V do 16 V, při konstantním výstupním proudu 1 A a napětí na zátěži 15 V.

### 2.1 Výpočet hodnot externích součástek pro topologii Buck – Boost

Dle katalogového listu nebo dostupného souboru, kde je sepsán postup konkrétně pro tuto konfiguraci, lze vypočítat hodnoty vnějších prvků měniče při požadovaných podmínkách zadání.

- **výpočet indukčnosti cívky L1:** Pro výpočet indukčnosti cívky L1 je zapotřebí vypočítat maximální střihu  $D_{max}$  podle rovnice (2.1)

$$D_{max} = \frac{U_{led} + U_d}{U_{led} + U_d + U_{inmin} - U_{fet}} \quad (2.1)$$

kde  $U_{led}$  je napětí na řetězci LED,  $U_d$  je propustné napětí na diodě D1,  $U_{inmin}$  je minimální vstupní napětí, kdy ještě měnič správně pracuje a  $U_{fet}$  popisuje úbytek napětí na sepnutém přechodu drain – source spínacího MOSFETu. Po dosazení dostáváme

$$D_{max} = \frac{15 + 0,6}{15 + 0,6 + 6 - 0,2} = 0,729$$

a dále podle rovnice (2.2) se vyjádří střední hodnota proudu tekoucí cívkou  $I_{Lavg}$

$$I_{Lavg} = \frac{I_{led}}{1 - D_{max}} = \frac{1}{1 - 0,729} = 3,69 \text{ A}, \quad (2.2)$$

kde  $I_{led}$  je proud tekoucí zátěží, resp. protékající diodami. Následná rovnice (2.3) představuje vztah pro výpočet špičkového proudu  $I_{Lp}$

$$I_{Lp} = I_{Lavg} + \frac{\Delta I}{2} = 3,69 + \frac{0,5}{2} = 3,94 \text{ A}, \quad (2.3)$$

kdy  $\Delta I_L$  se volí obvykle mezi 0,5 až 0,6, jak je uvedeno v souboru podporující výpočet tohoto zapojení. Pro  $L_{min}$  platí následující vztah (2.4)

$$L_{min} = \frac{(U_{inmin} - U_{fet}) * D_{max}}{f_{sw} * \Delta I_L} = \frac{(6 - 0,2) * 0,729}{480000 * 0,5} = 17,6 \mu H, \quad (2.4)$$

kde  $f_{sw}$  je zvolená spínací frekvence.

- **výpočet důležitých parametrů spínacího MOSFETu:** Směrodatné je napětí drain – source, které se získá výpočtem rovnice (2.5) a dále efektivní hodnota proudu  $I_{drms}$  získaná podle rovnice (2.6). Tedy pro  $U_{ds}$  platí

$$U_{ds} = (U_{led} + U_{inmax} + U_d) * 1,2 = 37,92 V \quad (2.5)$$

a

$$I_{drms} = 1,3 * \sqrt{(I_{Lavg})^2 * D_{max}} = 4,1 A. \quad (2.6)$$

Tyto výsledné hodnoty se musí zohlednit při výběru spínacího MOSFETu pro finální měnič.

- **parametry propustné diody D1:** Vhodný výběr propustné či usměrňovací diody je důležitý z hlediska ztrátového výkonu, který na diodě dosahuje velkých hodnot s porovnání ostatních prvků. Je doporučeno užít pro pozdější výběr Schottkyho diodu. Proud cívku  $I_d$  popisuje rovnice (2.7)

$$I_d = I_{Lavg} * (1 - D_{max}) * 1,2 = 1,2 A \quad (2.7)$$

Při výběru je také nutné se ujistit, že závěrné napětí je téměř o 20 % větší než součet napětí na zátěži a maximálního vstupního napětí.

- **výpočet vstupního kondenzátoru  $C_{in}$ :** Důležitý parametr každého měniče je hodnota vstupního kondenzátoru. Rovnice (2.8) uvádí vztah pro minimální hodnotu vstupního kondenzátoru

$$C_{in} \geq \frac{\Delta I_L * D_{max}}{4 * \Delta U_{in} * f_{sw}} = 1,05 \mu F, \quad (2.8)$$

kde  $\Delta U_{in}$  je vstupní zvlnění špičkového napětí při spínání. Vhodná hodnota vstupního kondenzátoru je 9,4  $\mu F$ . Dalším nezbytným parametrem je ESR cívky. Ten se vyjádří rovnicí (2.9)

$$ESR_{cin} < \frac{\Delta U_{esr\_in}}{\Delta I_L} = \frac{0,006}{0,5} = 12 m\Omega, \quad (2.9)$$

kde  $\Delta U_{esr\_in}$  je zvlnění vstupního napětí na ESR.

- **výpočet výstupního kondenzátoru  $C_{out}$ :** Vlastnostmi i účelem je velmi

obdobný jako vstupní kondenzátor. Rovnice (2.10) demonstruje vztah pro minimální hodnotu výstupního kondenzátoru

$$C_{out} \geq \frac{I_{led} * D_{max}}{\Delta U_{out} * f_{sw}} = 20 \mu F, \quad (2.10)$$

kde  $\Delta U_{out}$  je zvlnění výstupního napětí na výstupu při spínání. Ve výsledném zapojení se použije výstupní kondenzátor o hodnotě 34,7  $\mu H$ . ESR se vyjádří pomocí rovnice (2.11)

$$ESR_{cout} < \frac{\Delta U_{esr\_out}}{I_{Lp}} = 1 m\Omega, \quad (2.11)$$

kde  $\Delta U_{esr\_out}$  je zvlnění výstupního napětí na ESR.

- **výpočet hodnot rezistorů Rovp1 a Rovp2:** Při otevřeném průchodu LED se integrovaný obvod snaží zvýšit výstupní napětí na požadovaný výstupní proud. To má za následek nežádoucího navýšení napětí. Přepětíovou ochranu zajišťuje odporový dělič Rovp1 a Rovp2, který se vypočítá podle rovnice (2.12)

$$U_{ov} = 1,23 * \frac{R_{ovp1} + R_{ovp2}}{R_{ovp2}}, \quad (2.12)$$

kde napětí  $U_{ov}$  musí být větší jak součet  $U_{inmax}$  a  $U_{ledmax}$ . Výrobce kalkuluje s hodnotou 42 voltů. Po zvolení hodnoty u  $R_{ovp2}$ , která činí 10  $k\Omega$ , se zbylý rezistor dopočte podle rovnice (2.13)

$$R_{ovp1} = \frac{R_{ovp2} * (U_{ov} - 1,23)}{1,23} = 331,5 k\Omega. \quad (2.13)$$

V praxi se použije rezistor o hodnotě 330  $k\Omega$ .

- **výpočet spínací frekvence:** Spínací frekvence byla zvolena na hodnotu 480 kHz. Tato hodnota se projevuje nejpříjemnějšími vlastnostmi pro elektromagnetickou kompatibilitu a vychází vstříc potřebným normám daného průmyslového odvětví. Rovnice (2.14) udává vztah pro výpočet rezistoru, díky němuž je dosažena požadovaná spínací frekvence. Pro integrovaný obvod MAX16833 je rovnice ve tvaru

$$R_{rt} = \frac{7350}{f_{sw}} = \frac{7350}{480} = 15,31 k\Omega. \quad (2.14)$$

- **nastavení výstupního proudu:** Výstupní proud o hodnotě 1 ampéru se nastaví rezistorem  $R_{cs\_led}$  z rovnice (2.15)

$$R = \frac{200 * 10^{-3}}{I_{led}} = 200 m\Omega, \quad (2.15)$$

kde 200 mV je nominální hodnota. Ovšem za předpokladu, že na pinu CTRL

bude napětí větší než 1,23 voltů. Toho lze snadno dosáhnout odporovým děličem. V zapojení jsou proto použity rezistory R8 a R9, jenž požadované napětí zajistí. Napětí  $V_{ICTRL}$  na pinu ICTRL bude podle rovnice (2.16)

$$V_{ictr} = \frac{U_{cc} \cdot R8}{R8 + R9} = \frac{7 \cdot 10^3}{10^3 + 10,5^3} = 3,41 \text{ V}, \quad (2.16)$$

kde  $U_{cc}$  představuje regulované napětí ze stejnojmenného pinu integrovaného obvodu.

- **výpočet hodnot pro rozprostřené spektrum:** Jak již bylo zmíněno, toto zařízení se bude potýkat s elektromagnetickým vyzařováním a to převážně kvůli vysoké hodnotě spínací frekvence a nelineárním prvkům. Kvůli této skutečnosti by měly být potlačeny vyšší harmonické složky. Snížení nežádoucích špiček napěťových úrovní zajistí nízkofrekvenční rampový výstup z pinu LFRAMP. Pro rampovou frekvenci 500 Hz se nejdříve vypočítá hodnota kondenzátoru  $C_{RAMP}$ . Podle rovnice (2.17) bude zjištěna žádaná velikost kondenzátoru.

$$C_{ramp} = \frac{50 \mu A}{500 \text{ Hz}} = 0,1 \mu F. \quad (2.17)$$

Následně se vypočítá rezistor  $R_{DITH}$  podle rovnice (2.18)

$$R_{dith} = \frac{R_{rt}}{\Delta f_{sw}} * 100 = 122,48 \text{ k}\Omega, \quad (2.18)$$

kde  $R_{rt}$  je již známý rezistor pro nastavení spínací frekvence a  $\Delta f_{sw}$  je změna spínací frekvence vyjádřená v procentech. Obvykle se tato hodnota pohybuje kolem 12 procent. V zapojení se užije rezistor čínicí 121 k $\Omega$ .

Další hodnoty rezistorů a kondenzátorů se buď použily z doporučených hodnot uvedených v katalogovém listu, nebo z příloženého souboru, který je dostupný ke stažení z internetových stránek výrobce [10].

## 2.2 Výpočet hodnot externích součástí pro topologii SEPIC

Topologie SEPIC se od předešlé konfigurace liší přidáním dalšího induktoru L2 a pracovního kondenzátoru  $C_p$ . Ostatní prvky budou ponechány o stejných hodnotách jako v předešlém zapojení.

- **určení hodnoty pracovního kondenzátoru  $C_p$ :** Tento kondenzátor musí zvládat efektivní proud, jehož hodnotu vyjadřuje rovnice (2.19)

$$I_{cp} = I_{out} * \sqrt{\frac{U_{out} + U_d}{U_{inmin}}} = 1 * \sqrt{\frac{15 + 0,6}{6}} = 1,61 A \quad (2.19)$$

a rovnice (2.20) pojednává o zvlnění na kondenzátoru Cp.

$$\Delta U_{cp} = \frac{I_{out} * D_{max}}{C_p * f_{sw}} = \frac{1 * 0,729}{1 * 10^{-6} * 480000} = 1,519 V, \quad (2.20)$$

kde Cp je kapacita kondenzátoru Cp. Kvůli požadovanému zvlnění  $\Delta U_{cp}$  byla zvolena hodnota 1  $\mu F$ .

Hodnota induktoru L2 může být stejná jako L1. Výpočet indukčnosti je totožný, jako v případě zapojení Buck – Boost. V praxi se užije zapojení separátních induktorů, nebo vázaných cívek na společném jádře.

### 2.3 Návrh a výpočet hodnot vstupního LC filtru

Jak již bylo výše uvedeno, je nutné zvážit užití filtrů a to jak na vstupu obvodu, tak na konkrétních součástkách. Byly zmíněny filtrace na ztrátových a nelineárních součástkách. Tlumící obvod se může použít u spínaného tranzistoru MOSFET, jenž se potýká s velkým efektivním proudem  $I_{drms}$  a nemalým napětím  $U_{ds}$  nebo na diodě D1, která bude představovat vlivem velkého procházejícího proudu značné tepelné ztráty. V automobilovém průmyslu je důležité omezení rušení po vodičích (drátech). Anglický termín pro tuto skutečnost nese název *conducted emission*. Jedná se o důležitou složku elektromagnetické kompatibility. V podstatě se jedná o širokopásmové rušení, jež se dostane přes vstup zapojení do dalších obvodů, kde může nepříznivě ovlivňovat ostatní zapojení. Tento problém se snáze odstraní zařazením vstupního LC filtru. Filtr dokáže potlačit rušení na akceptovatelnou úroveň. Skutečné vlastnosti tohoto užitého filtru se zjistí až při finálním měření. Návrh tedy nemusí striktně odpovídat skutečnosti. Avšak kromě návrhu pásma propustnosti je nutné pomyslet na vlastní rezonanční frekvence součástek. Vstupní LC filtr se bude skládat z tlumící cívky a kondenzátoru a bude představovat dolní propust. Mezní frekvence byla zvolena na 75 kHz. Dále podle Thompsonova vztahu můžeme při zvolení jedné součástky dopočítat zbývající. Rovnice (2.21) zobrazuje Thompsonův vztah.

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}} \quad (2.21)$$

Indukčnost tlumivky byla zvolena na hodnotu 22  $\mu H$ . Pro výpočet kondenzátoru C1 se užije rovnice (2.22)

$$C = \frac{1}{4 * \pi^2 * L * f_0^2} = \frac{1}{4 * \pi^2 * 22 * 10^{-6} * 75000^2} = 0,2 \mu F. \quad (2.22)$$

V konečném zapojení se užijí dva kondenzátory o hodnotě 0,1  $\mu F$ .



## 2.4 Výpočet ztrátového výkonu na vybraných součástkách

Velkou pozornost si při návrhu spínaných měničů zaslouží možnost užití chlazení použitého na jednotlivých součástkách. Tato skutečnost se velmi úzce pojí s výpočtem ztrátového výkonu. Podle velikosti tohoto výkonu se musí zvážit použití chladiče. V podstatě se jedná o přeměnu užitečné energie na teplo, které je vyzářeno do okolí. To je zapříčiněno kvůli vysokým hodnotám elektrického proudu procházející danou součástkou. Při zanedbání tepelných ztrát může dojít ke zničení součástky, což má za následek celkové selhání zařízení. Ve výše zmíněném zapojení se tento problém týká především integrovaného obvodu MAX16833 a spínaného tranzistoru MOSFET. Díky rozšířené plošce na spodní straně integrovaném obvodu (*Exposed Pad*) se část tepla uchladí vlivem vedení po připojení na společnou zem. Na tranzistoru MOSFET dochází ke dvěma druhům ztrátového výkonu. Jednak vlivem spínání nebo vlivem vedení. Otevření, nebo uzavření hradla tranzistoru není nikdy ideální, a tak se tento proces neobejde beze ztrát. Rovnice (2.23) popisuje ztráty vedením.

$$P_{cond} = I_{Lavg}^2 * D_{max} * R_{dson}, \quad (2.23)$$

kde  $R_{dson}$  značí impedanci mezi branami Drain – Source. Po číselném dosazení činí hodnota  $P_{cond}$  32,8 mW. Hodnota  $R_{dson}$  byla získána z datasheetu pro uvedený MOSFET.[12]

Spínané ztráty se pro zapojení výše zmíněnou topologií vypočítají podle rovnice 2.24.

$$P_{sw} = \left( \frac{I_{Lavg} * (U_{led} + U_{inmax})^2 * C_{gd} * f_{sw}}{2} \right) * \left( \frac{1}{I_{gon}} + \frac{1}{I_{goff}} \right) \quad 2.24$$

Veličina  $C_{gd}$  je kapacita mezi branami gate a drain, pohybujících se ve stovkách pikofaradů.  $I_{gon}$  a  $I_{goff}$  značí proud branou gate, jimž se při změně napětí nabíjí zmíněná kapacita  $C_{gd}$ . Hodnoty se lehce zjistí ze stránek datasheetu konkrétního tranzistoru [12]. Po číselném vyjádření dosahuje  $P_{sw}$  hodnoty 51,7 mW. Opět se nesmí opomenout výkon přeměněný v teplo vlivem nedokonalé přeměny energie. Z fyzikálních poznatků týkajících se výkonu a příkonu je dokázáno, že žádné zařízení konající práci, nedosáhne stoprocentní účinnosti. Část nevyužitá energie se tedy přemění na teplo a může nepříznivě ovlivňovat životnost součástky v obvodu. Pro zamezení zničení tranzistoru, kde se očekává velký ztrátový výkon, se použije tranzistorový chladič. Ztrátový výkon se zjistí při měření účinnosti zařízení.

## 2.5 Výběr a dimenzování součástek

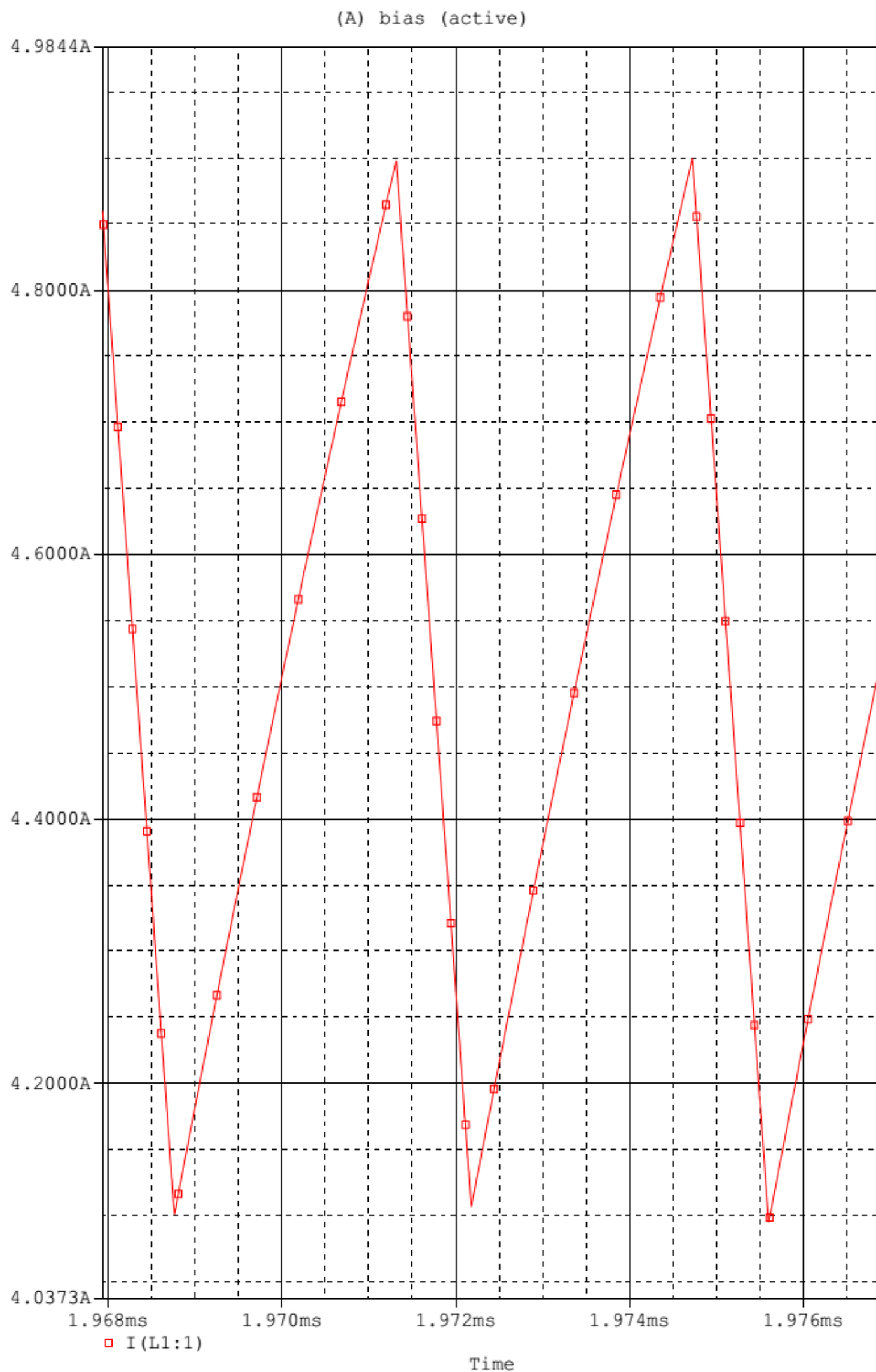
Asi jedna z nejzásadnějších věcí, kterou by každý návrhář neměl zanedbat, je výběr vhodné součástky, jež svými vlastnostmi bude zastávat práci v obvodu. Řeší se tedy výběr hodnot, čili dimenzování součástky, pouzdro, ztrátový výkon a další specifické vlastnosti. V úvodu této práce byly zmíněny hlavní požadavky na spínané měniče. Kromě dosažení vysoké účinnosti by měl být finální obvod sestaven za rozumnou finanční částku. Vzhledem k možnosti sériové výroby by každá méně potřebná součástka, či velikost konečného zapojení představovaly značné finanční ztráty. Proto budou použity součástky SMD pro jejich rozměry, dostupnost a nízké pořizovací ceny. Dále musí být zohledněny maximální hodnoty proudů a napětí, se kterými se budou jednotlivé součástky potýkat a s tím také vznik ztrát. Z předchozích vět by se dalo vytušit, že zásadní bude správný výběr výkonové cívky L1 spínacího tranzistoru Q1 a diody. U cívky se sleduje výběr indukčnosti s dostatečnou rezervou. Procházejícím efektivním proudem a vlastní sériovou rezonancí, která by měla být alespoň desetkrát větší než je velikost spínané frekvence. Spínací tranzistor Q1 se musí vypořádat s průrazným napětím  $U_{ds}$  na mezi branami drain a source a s efektivním proudem  $I_{drms}$ . Rolí usměrňovací diody D1 bude zastupovat Schottkyho dioda kvůli svému rychlému vzniku a zániku hradlové vrstvy. Díky tomu dosahuje zotavovací doba hodnotu menší než jednotky nanosekund. Jelikož bude diodou procházet proud vyšší jak 1 A, vyskytnou se zde odpovídající tepelné ztráty dány napětím a procházejícím proudem. V následující části této kapitoly budou popsány jednotlivé součástky nebo jejich zástupci.

- cívka L1: - indukčnost 18  $\mu\text{H}$ 
  - vlastní rezonanční frekvence 16 MHz
  - proud  $I_{rms}$  4,2 A
  - DC rezistence 0,036  $\Omega$
- cívka L2: - indukčnosti 22  $\mu\text{H}$ 
  - paralelní proud  $I_{rms}$  4 A
  - DC rezistence 0,0503  $\Omega$
  - vhodné pro SEPIC zapojení
- tlumivka L3: - indukčnost 22  $\mu\text{H}$ 
  - vlastní rezonanční frekvence 15 MHz
  - proudová zatížitelnost 1,2 A
- tranzistor Q1: - MOSFET
  - trvalý proud  $I_d$  90 A
  - průrazné napětí  $U_{ds}$  40 V
  - pouzdro TO – 220 – 3
  - rise time 7 ns

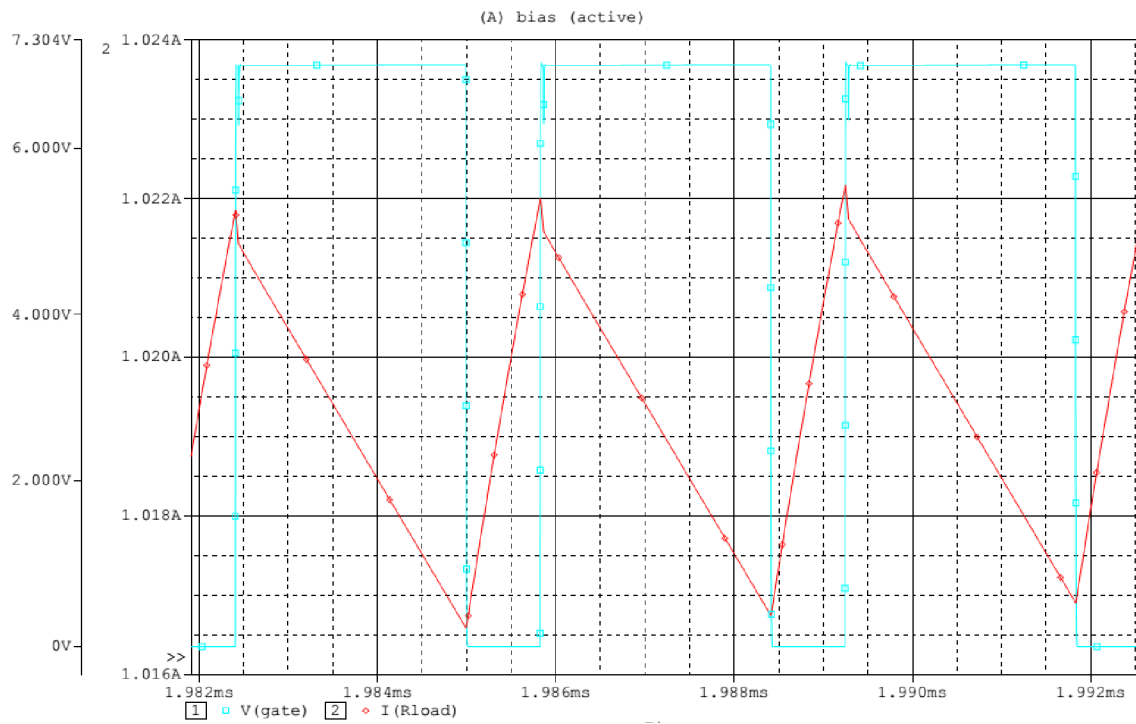
- dioda D1: - Schottkyho dioda
  - proud v propustném směru  $I_f$  2 A
  - pouzdro SOD – 123W
- rezistory: - různá velikost pouzder zohledňující protékající proud a napětí na součástce
  - hodnoty dle výpočtu, výběr nejbližší vyšší hodnoty nebo z doporučených hodnot v datasheetu[10]
- kondenzátory: - keramické provedení
  - různá velikost pouzder zohledňující protékající proud a napětí na součástce
  - hodnoty dle výpočtu, výběr nejbližší vyšší hodnoty nebo z doporučených hodnot v datasheetu[10]

## 2.6 Simulace v prostředí PSpice topologie Buck-Boost

Většinu elektrických obvodů lze odměřit v simulačním prostředí, kde se prokáže jejich funkčnost a dále se mohou naměřit jejich parametry nebo se může zlepšit celková činnost obvodu. Pro ověření funkčnosti měniče s integrovaným obvodem MAX16833 bude zapojení obsahovat jen nejpotřebnější prvky. Z toho důvodu bude vynechán vstupní LC filtr a některé přídavné prvky obvodu. Modely součástek byly vloženy z knihoven programu. Kromě obyčejných modelů součástek jako odpor, cívka a kondenzátor byl použit makromodel MAX16833, dále model diody 1N5814, model rychle spínacího tranzistoru M2N6802 a model M2N6804 představující N – kanálový MOSFET. Rezistor Rload představuje v zapojení výkonovou zátěž. Schéma zapojení je uvedeno v příloze A1 této práce. Zjednodušené zapojení bylo navrženo v programu OrCad Capture a výsledná simulace byla provedena v přidruženém prostředí OrCad EE PSpice. V časové analýze byly zobrazeny průběhy napětí a proudů. Na obr. 24 je zobrazen proud tekoucí cívkou. Průběh proudu odpovídá požadovanému tvaru i průběhu. Na obr. 25 jsou průběhy napětí na vstupní bráně modelu M2N680 a výstupní proud. Obdélníkové impulsy značí stavy rozepínání a spínání MOSFETu. Velikosti napětí na logických úrovních odpovídají hodnotám očekávaných při měření. Na základě rozboru zobrazení lze usoudit, že tento měnič pracuje dle požadovaného zadání a může být ještě ošetřen a rozšířen o další prvky, které budou součástí finálního zapojení. Použití vhodnějších modelů by bylo možné dosáhnout lepších výsledků. Například hodnoty proudů nebo velikost střídny nemusí nutně odpovídat skutečnosti.



Obr. 24: Průběh proudu cívkou L1



Obr. 25: Průběhy napětí na vstupní bráně MOSFETu a výstupního proudu

## 2.7 Návrhy desek plošných spojů a rozložení součástek

Jeden z posledních důležitých bodů správného chodu zařízení je vhodný návrh desky plošného spoje (DPS) a následné rozmístění součástek. Pokud by výsledky předchozích simulací odpovídali požadovaným hodnotám a průběhům na výstupu nebo v některé části obvodu, reálné zapojení může mít odlišné chování. V krajním případě nebude plnit svoji funkci, pro kterou bylo navrženo. U problematiky spínaných měničů se musí při návrhu DPS dbát na potlačení zdrojů možného rušení, které zapříčiní nestabilitu systému. V následujících větách budou uvedeny některé důležité poznatky ohledně samotného návrhu DPS.

Snaha co nejvíce zkrátit délku smyčky s velkými hodnotami proudu. Jedná o kritický uzel cívka L1, rychle spínací tranzistor Q1 a Schottkyho dioda D1. Kvůli možnému kolísání napětí je potřeba připojit vstupní kondenzátory blízko k integrovanému obvodu. Snímací rezistory ve zpětnovazební smyčce, rovněž připojit co nejbližší k vývodům IO. Tyto rezistory slouží jako snímače proudu. Jsou velmi citlivé a při větší vzdálenosti od vstupu IO může dojít k rozkmitání. Následně bude ohroženo spínání tranzistoru a nastane kolaps zařízení. Dále použít jednolitou zemnicí plochu pro lepší odvod tepla. Taktéž dojde ke snížení parazitních indukčností nebo kapacit. Výkonové prvky by měly být co nejdále od citlivých analogových obvodů. Po dodržení výše uvedených bodů by měla být dosažena řádná činnost zařízení. Pochopitelně celkovou funkčnost postihuje i problematika z předešlých kapitol. Další doporučené rady a tipy v oblasti návrhu se nacházejí v datasheetu IO MAX16833 v sekci *Layout Recommendations* [7].

V této práci byl návrh proveden v programu Eagle verze 6.5.0. Obvodové zapojení bylo použito z doporučeného zapojení z datasheetu [7]. Následně byl obvod rozšířen o vstupní LC filtr. Taktéž je zde možnost řízení PWM stmívání a možné propojení integrovaného obvodu k libovolnému mikrokontroléru. Součástky byly umístěny co neblíže vedle sebe kvůli úspoře místa. Šířky spojů mezi jednotlivými součástkami byly voleny s ohledem na procházející proud. Tato proudová zatížitelnost byla spočtena v programu uvedeném na stránkách společnosti PragoBoard [13]. Posléze byly konkrétní desky plošných spojů vyhotoveny firmou Gatema. Byla využita služba POOL servis pro svůj dobrý poměr cena/výkon. Technologie zahrnující službu POOL servis jsou dostupné z internetových stránek firmy [17]. Pro výše zmíněná zapojení byla využita dvouvrstvá deska se zelenou nepájivou maskou určená pro SMD součástky. Nepájivá maska výrazně usnadňuje osazování DPS a chrání proti poškození cest a náhodnému zkratu. Celkové rozměry desek činí zhruba 45.5 x 35 mm.

## 2.8 Oživení a jednotlivá měření obvodu

Po osazení obou DPS byl zjišťován pomocí multimetru možný zkrat. Vstupní LC filtr nebyl zapojen kvůli následnému měření účinnosti, a tak byl mezi vývody tlumivky použit měděný drát jako propojka. Zátěž představuje LED modul, na kterém jsou umístěny 3 LED v sérii. Napětí na tomto řetězci je 10 V, procházející proud 1 A. Změna oproti původnímu zadání by neměla mít vliv na celkový chod zařízení. Po připojení ke zdroji se stejnosměrným napětím byla stažena proudová ochrana na minimální hodnotu. Postupně byla zvyšována intenzita osvětlení LED modulu a výstupní proud dosáhl požadované hodnoty 1 A.

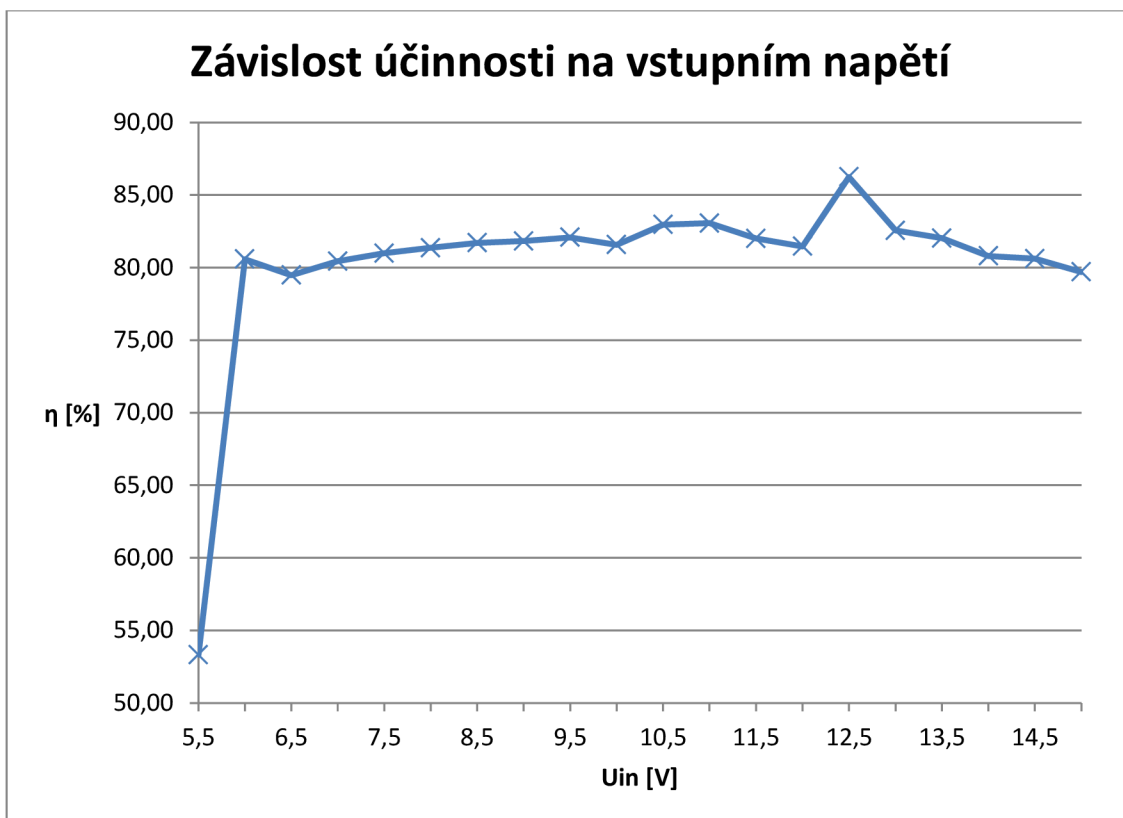
## 2.8.1 Měření účinnosti

Jeden z nejdůležitějších parametrů je účinnost zařízení. Zjednodušeně lze uvést, jaké množství elektrické energie se kladně zúročí na zátěži systému při poměru energii dodané do systému. V následujících tabulkách jsou zaznamenány hodnoty vstupního proudu a napětí, výstupního proudu a napětí, výkonu, příkonu a účinnosti. V tab. 1 jsou uvedené hodnoty pro Buck – Boost měnič. Obr. 26 zobrazuje vztah mezi účinností a změnou vstupního napětí.

Tab. 1: Veličiny naměřené při zapojení Buck - Boost

<b>U<sub>in</sub> [V]</b>	<b>I<sub>in</sub> [A]</b>	<b>U<sub>out</sub> [V]</b>	<b>I<sub>out</sub> [A]</b>	<b>P<sub>in</sub> [W]</b>	<b>P<sub>out</sub> [W]</b>	<b>η [%]</b>
5,5	1,10	7,33	0,44	6,05	3,23	53,31
6	2,28	10,60	1,04	13,68	11,02	80,58
6,5	2,13	10,58	1,04	13,85	11,00	79,47
7	1,93	10,55	1,03	13,51	10,87	80,43
7,5	1,77	10,54	1,02	13,28	10,75	80,99
8	1,65	10,53	1,02	13,20	10,74	81,37
8,5	1,53	10,52	1,01	13,01	10,63	81,70
9	1,44	10,50	1,01	12,96	10,61	81,83
9,5	1,36	10,50	1,01	12,92	10,61	82,08
10	1,30	10,50	1,01	13,00	10,61	81,58
10,5	1,24	10,59	1,02	13,02	10,80	82,96
11	1,18	10,57	1,02	12,98	10,78	83,06
11,5	1,14	10,54	1,02	13,11	10,75	82,00
12	1,09	10,55	1,01	13,08	10,66	81,46
12,5	1,00	10,57	1,02	12,50	10,78	86,25
13	0,99	10,52	1,01	12,87	10,63	82,56
13,5	0,95	10,52	1,00	12,83	10,52	82,03
14	0,93	10,52	1,00	13,02	10,52	80,80
14,5	0,90	10,52	1,00	13,05	10,52	80,61
15	0,88	10,52	1,00	13,20	10,52	79,70

Výsledná účinnost se ve vymezené pracovní oblasti měniče pohybuje těsně nad 80%, což je přijatelná hodnota pro tento typ obvodu. Výstupní proud je stabilní kolem požadované hodnoty 1 A.



Obr. 26: Graf závislosti účinnosti na vstupním napětí

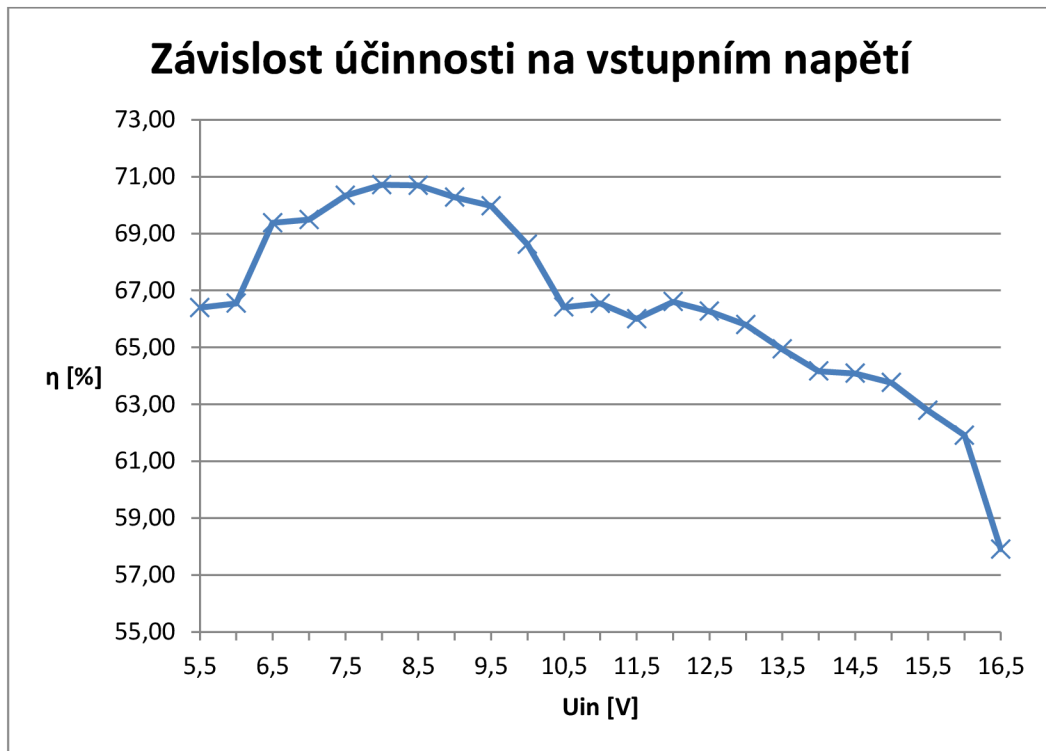


Tab. 2 udává naměřené veličiny při SEPIC zapojení a obr. 27 znázorňuje závislost účinnosti na změnu vstupního napětí.

Tab. 2: Veličiny naměřené při zapojení SEPIC

<b>U<sub>in</sub> [V]</b>	<b>I<sub>in</sub> [A]</b>	<b>U<sub>out</sub> [V]</b>	<b>I<sub>out</sub> [A]</b>	<b>P<sub>in</sub> [W]</b>	<b>P<sub>out</sub> [W]</b>	<b>η [%]</b>
5,5	2,36	10,26	0,84	12,98	8,62	66,40
6	2,27	10,30	0,88	13,62	9,06	66,55
6,5	2,17	10,41	0,94	14,11	9,79	69,38
7	2,09	10,48	0,97	14,63	10,17	69,48
7,5	2,02	10,55	1,01	15,15	10,66	70,33
8	1,88	10,53	1,01	15,04	10,64	70,71
8,5	1,77	10,53	1,01	15,05	10,64	70,69
9	1,68	10,52	1,01	15,12	10,63	70,27
9,5	1,60	10,53	1,01	15,20	10,64	69,97
10	1,55	10,53	1,01	15,50	10,64	68,61
10,5	1,51	10,53	1,00	15,86	10,53	66,41
11	1,44	10,54	1,00	15,84	10,54	66,54
11,5	1,39	10,55	1,00	15,99	10,55	66,00
12	1,32	10,55	1,00	15,84	10,55	66,60
12,5	1,27	10,52	1,00	15,88	10,52	66,27
13	1,23	10,52	1,00	15,99	10,52	65,79
13,5	1,20	10,52	1,00	16,20	10,52	64,94
14	1,17	10,51	1,00	16,38	10,51	64,16
14,5	1,13	10,50	1,00	16,39	10,50	64,08
15	1,10	10,52	1,00	16,50	10,52	63,76
15,5	1,08	10,51	1,00	16,74	10,51	62,78
16	1,06	10,50	1,00	16,96	10,50	61,91
16,5	1,10	10,51	1,00	18,15	10,51	57,91

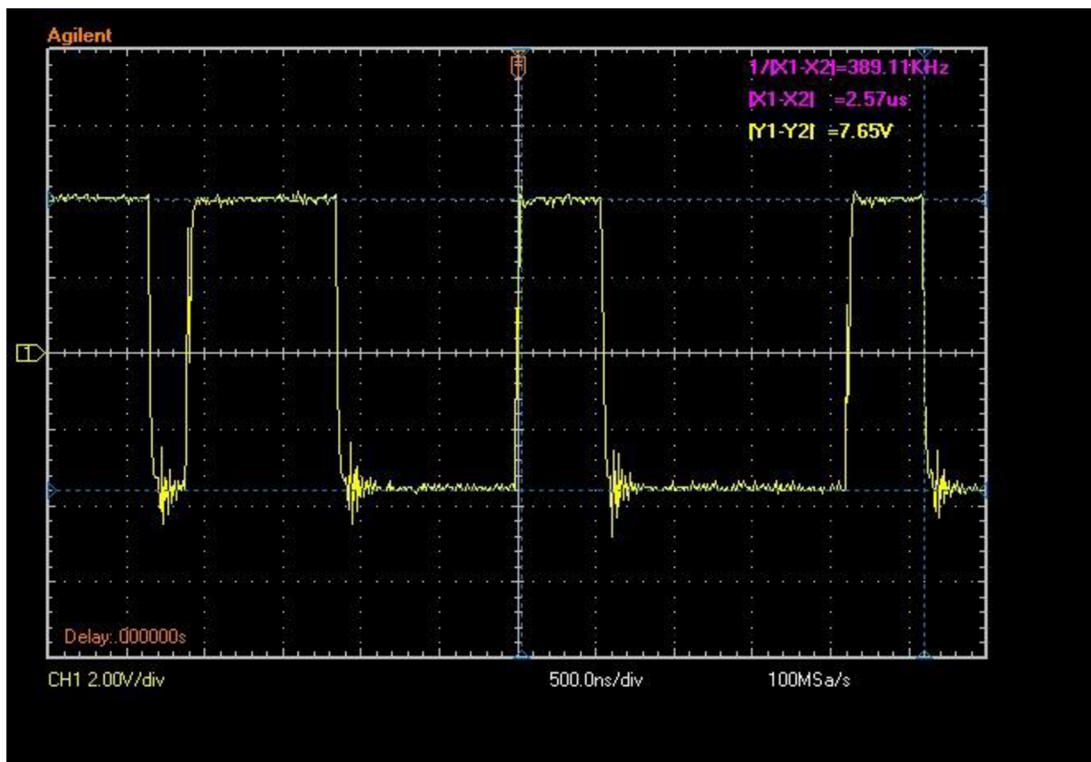
Výsledná účinnost je značně menší, než se pro toto zapojení očekávalo. Ověření dotykem by zjištěn značný ohřev aktivních prvků. To je dáno právě přeměny energie na teplo kvůli nízké účinnosti. Nízké hodnoty účinnosti mohou být dány vlivem ztrát nedokonalé vazby na cívkách se společným jádrem. Nejvyšší hodnoty účinnosti zapojení dosahuje při menším vstupním napětí. Výstupní proud opět dosahuje požadované hodnoty 1 A.



Obr. 27: Graf závislosti účinnosti na vstupním napětí

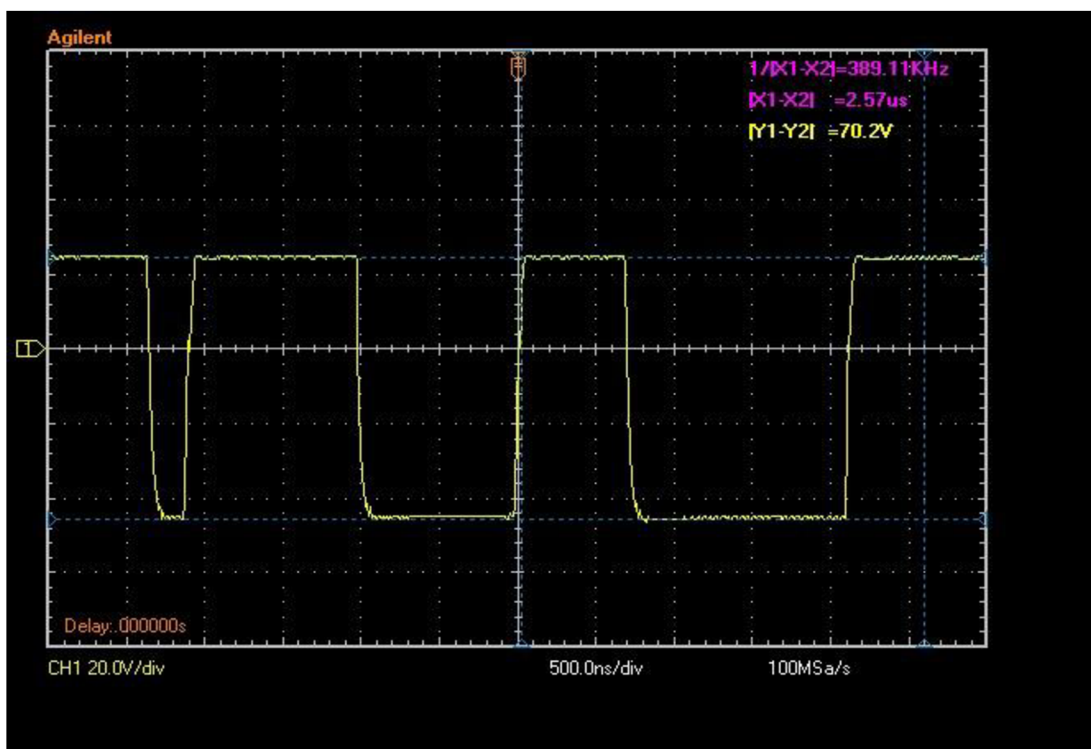
### 2.8.2 Ověření spínání tranzistoru

Pro ověření spínání byl na osciloskopu zobrazen průběh napětí  $U_{gs}$  na tranzistoru MOSFET. Spínání tranzistoru řídí IO pomocí zpětnovazební smyčky. Na obr. 28 je zobrazen impulsní průběh napětí  $U_{gs}$  pro zapojení Buck – Boost.



Obr. 28: Průběh napětí  $U_{gs}$ , Buck – Boost

Obr. 29 zobrazuje rovněž průběh napětí  $U_{gs}$  pro zapojení SEPIC.



Obr. 29: Průběh napětí  $U_{gs}$ , SEPIC

Velikost napětí  $U_{gs}$  na obou snímcích je přibližně kolem 7 V, což je obvyklá hodnota pro tento tranzistor [18]. Problémem je různě měnící se střída. To by mohlo vést k celkové nestabilitě zařízení. Příčiny vycházejí ze vzdálenosti snímacích odporů  $R_{cs}$  a  $R_7$  ke vstupu IO. Ačkoliv se z prvního pohledu vzdálenost jeví jako dostatečná, opak může být pravdou. Cesty zpětnovazební smyčky jsou na obou zapojeních totožná. Nestabilita střídání má za následek nestabilní spínací frekvenci. Ta se po změření osciloskopu pohybovala okolo požadovaných 480 kHz. Zapojení jsou přes výše uvedené problémy funkční.

### 3 ZÁVĚR

V této práci byly rozebrány některé typy zapojení spínacích měničů a popsány jejich vlastnosti, dále byl uveden přehled dostupných integrovaných obvodů, přičemž byly uvedeny jejich parametry a požadavky pro vhodný budoucí spínaný měnič. Na těchto základech by vybrán integrovaný obvod MAX16833, který bude užit v topologiích typu Buck – Boost a SEPIC. Pro výpočet hodnot součástek byly využity doporučené rovnice. Funkčnost topologie Buck – Boost byla ověřena v simulačním programu, stejně tak jako zapojení typu SEPIC. Výsledná zařízení byla vyhotovena se snahou minimálních rozměrů desek plošných spojů. Použité součástky byly typu SMD.

Posléze byly vyhotovené a osazené zařízení oživeny a uvedeny v činnost. Sadou měření byla zjištěna účinnost obou zapojení. Z těchto faktů má lepší účinnost zapojení typu Buck – Boost. Snížená účinnost u zapojení SEPIC je dána nedokonalou vazbou a reálnými ztrátami dvou cívek na společném jádře. Odstranění této závady by bylo možné pomocí zapojení separátních induktorů, namísto užitého zapojení dvou cívek na společném jádře. Dále byla změřena střída obdélníků napětí  $U_{gs}$  rychle spínacího tranzistoru MOSFET. Její nezávisle se měnící hodnota je zapříčiněna rozkmitáním ve zpětnovazební smyčce. Zkrácením cesty mezi snímacím rezistorem  $R_{cs}$  a vstupem IO lze tuto závadu odstranit. Další možné měření a testování by se zaměřilo na elektromagnetickou kompatibilitu. Zvláště pak na rušení po drátech, což patří do složky elektromagnetického rušení. Ve výsledku jsou obě dvě zapojení funkční pro zadané vstupní podmínky.

# LITERATURA

- [1] SMOLÍK, J. Současnost a budoucnost automobilového osvětlení. *Odborné časopisy* [online]. 2014 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=44730](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44730)
- [2] KREJČÍŘÍK, A. (2001). *DC/DC měniče*. Praha: Nakladatelství BEN - technická literatura.
- [3] SEPIC converter. In: STMicroelectronics [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application\\_note/CD00134778.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00134778.pdf)
- [4] Katalogový list LT37905. [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3795fb.pdf>
- [5] Volně šiřitelný program LTspice. [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>
- [6] Katalogový list LM3424. [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3424.pdf>
- [7] Katalogový list MAX16833. [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX16833-MAX16833D.pdf>
- [8] Katalogový list TLD5095EL. [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <https://www.infineon.com/dgdl/TLD5095-Data-Sheet-14-Infineon.pdf?fileId=db3a304325305e6d01256ea6714429b9&ack=t>
- [9] Katalogový list TPS92690. [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps92690.pdf>
- [10] Návrhový soubor pro MAX16833. [online]. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5659>
- [11] KUBÍČEK, M. *Napájení elektronických zařízení: přednášky, pdf soubor*. VUT FEKT, 2013
- [12] Katalogový list N – channel MOSFET. [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/427/sup90n04-101845.pdf>
- [13] Volně šiřitelný program pro výpočet proudové zatížitelnosti. [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [http://www.pragoboard.cz/proudova\\_zatizitelnost](http://www.pragoboard.cz/proudova_zatizitelnost)
- [14] KOLLMAN, R. Power tipy XXXII – Pozor na proudy v regulátorech SEPIC. *Odborný článek* [online]. 2011 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [http://pandatron.cz/?2784&power\\_tipy\\_xxxii\\_-\\_pozor\\_na\\_proudy\\_v\\_regulatorech\\_seplic\\_%96\\_cast\\_1](http://pandatron.cz/?2784&power_tipy_xxxii_-_pozor_na_proudy_v_regulatorech_seplic_%96_cast_1)
- [15] VRBA, K. *Konstrukce elektronických zařízení: skripta, pdf soubor*. VUT FEKT, 2013
- [16] Návrhový soubor MAX16833EMI. [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://tec.icbuy.com/uploads/2013/4/19/AN5571.pdf>
- [17] Technologie a služby POOL servis. [online]. [cit. 2015. 05. 15]. Dostupné z: <http://pcb.gatema.cz/cenik-pool-servis/>
- [18] Katalogový list P – channel MOSFET. [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/427/sup90n04-101845.pdf>

- [19] DOLEŽAL, M. *Spínané budiče LED*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2014. 58 s., 3 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Šteffan Ph.D.
- [20] SERVÍT, D. *Spínaný LED budič typu SEPIC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 85 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

# SEZNAM PŘÍLOH

A.1	Schéma zapojení simulace v programu PSpice .....	42
A.2	Schéma obvodu Buck- Boost.....	43
A.3	Deska plošného spoje Buck- Boost .....	44
A.4	Osazovací plán Buck.Boost .....	45
B.1	Schéma obvodu SEPIC .....	46
B.2	Deska plošného spoje SEPIC.....	47
B.3	Osazovací plán SEPIC .....	48
C.1	Fotodokumentace .....	49
C.2	Seznam součástek .....	50



## A.1 Schéma zapojení simulace v programu PSpice

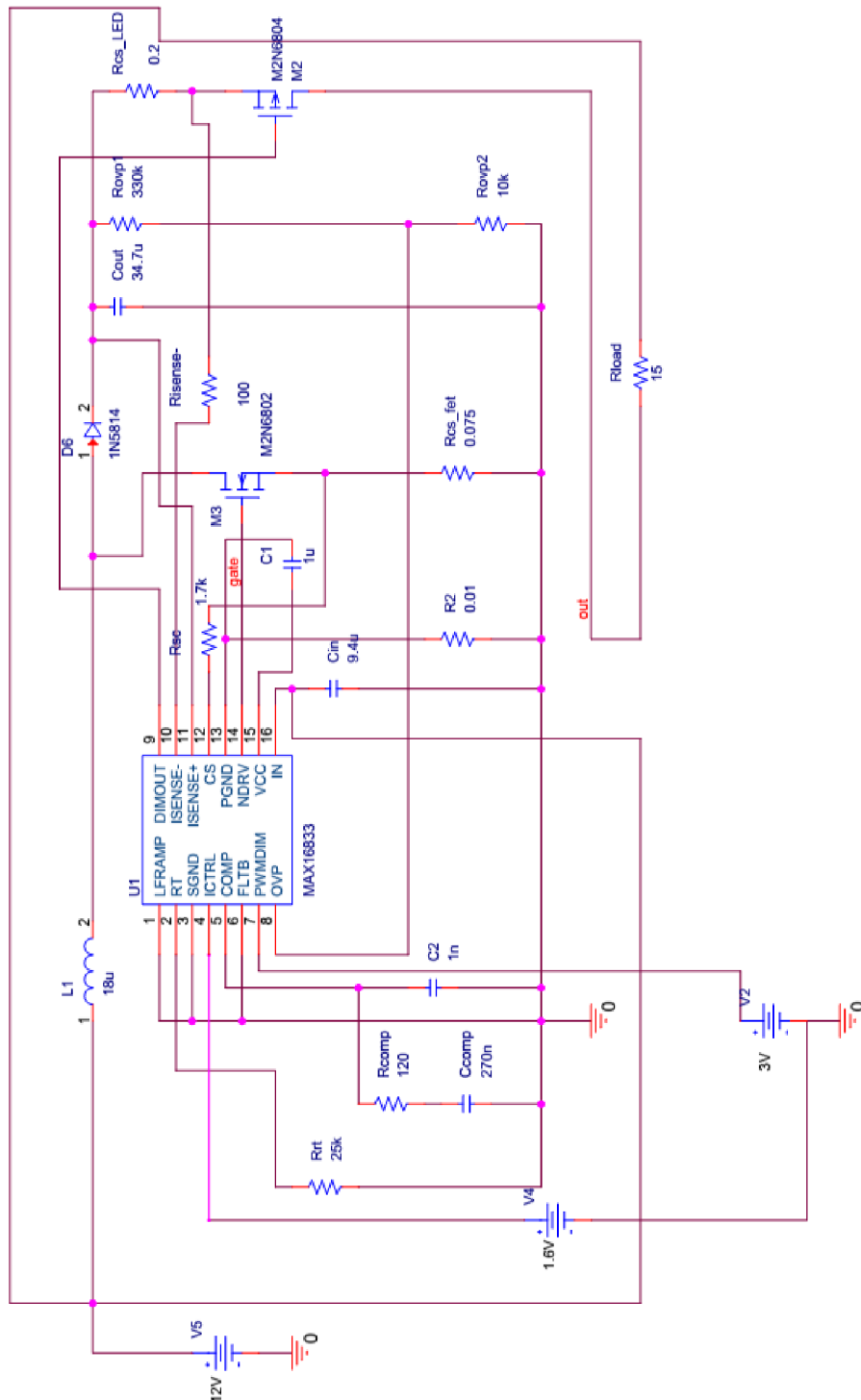


Schéma zapojení Buck-Boost v PSpice

## A. 2 Schéma obvodu Buck-Boost

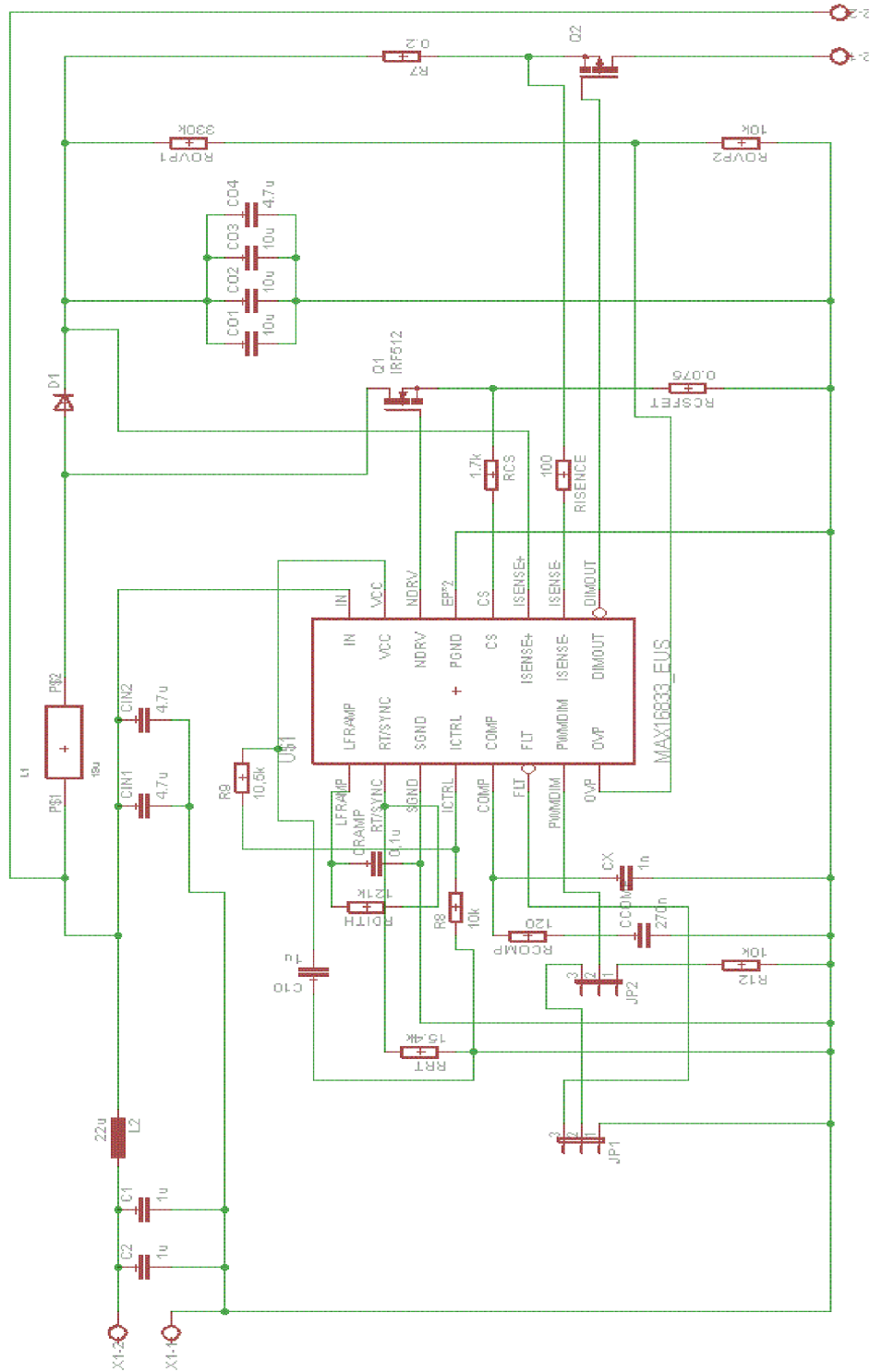
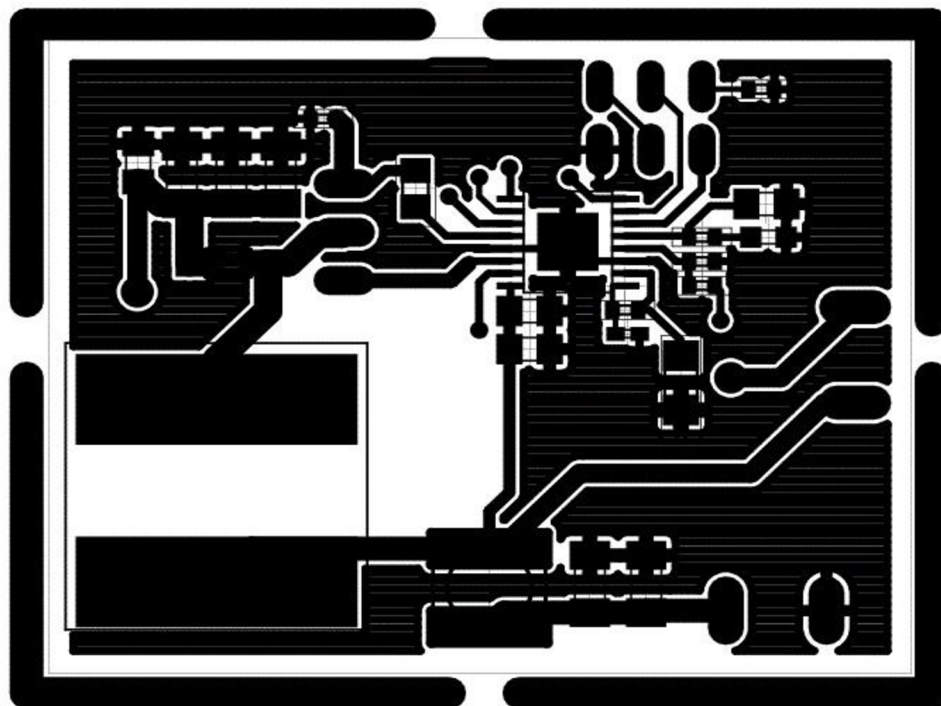
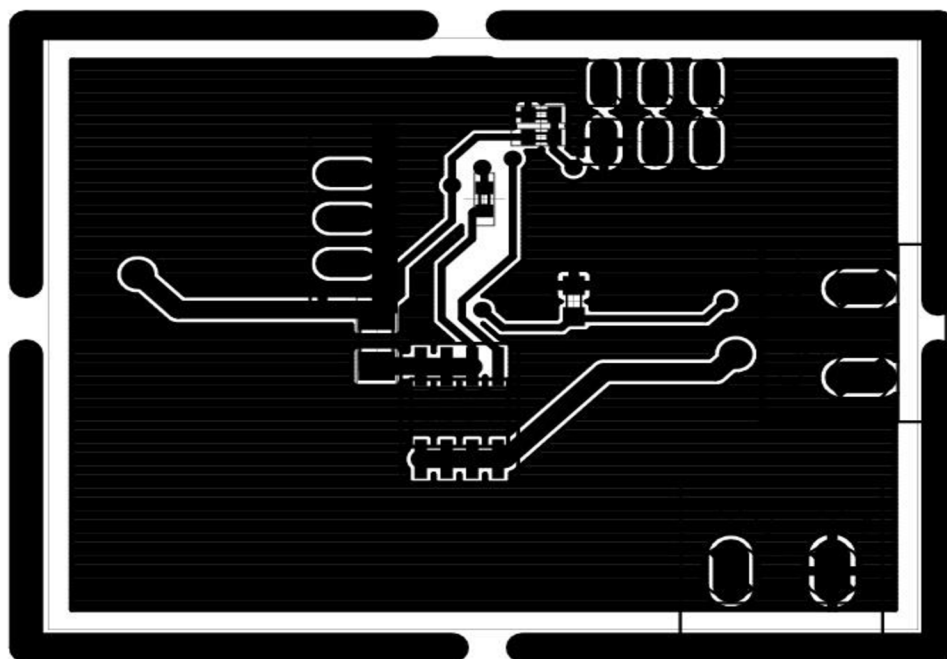


Schéma obvodu

### A. 3 Deska plošného spoje Buck-Boost

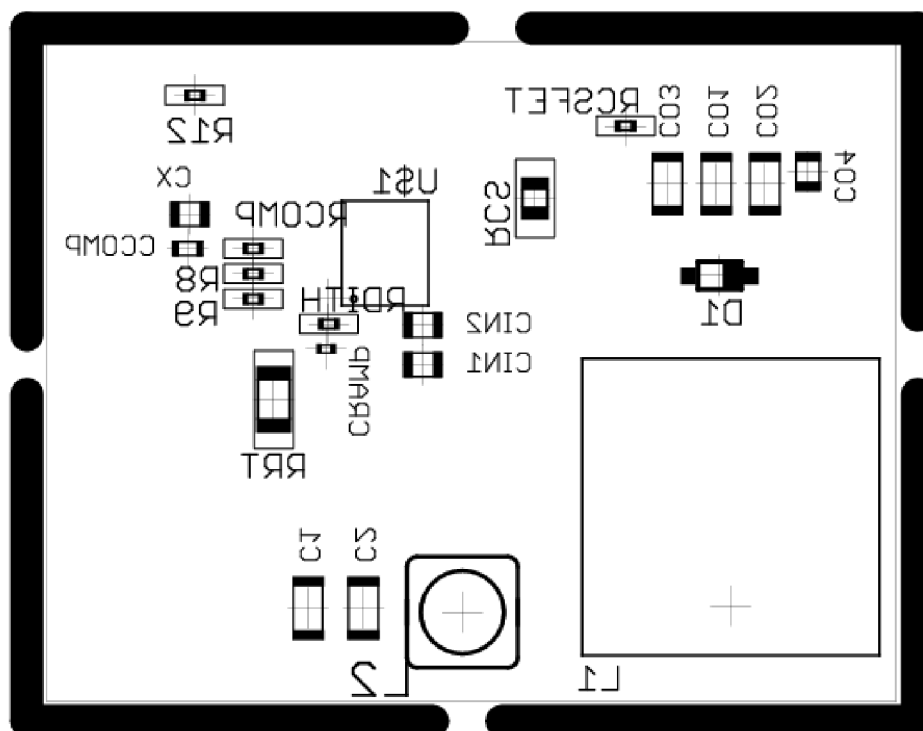


Deska plošného spoje - strana bottom (45,5 x 35 mm)

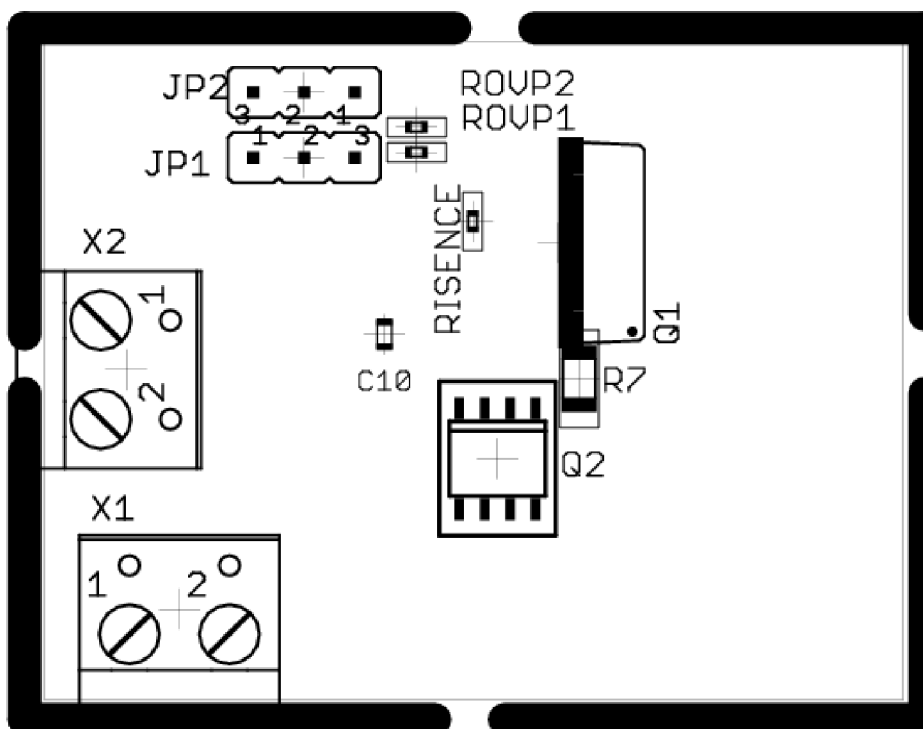


Deska plošného spoje – strana top (45,5 x 35 mm)

## A. 4 Osazovací plán Buck-Boost



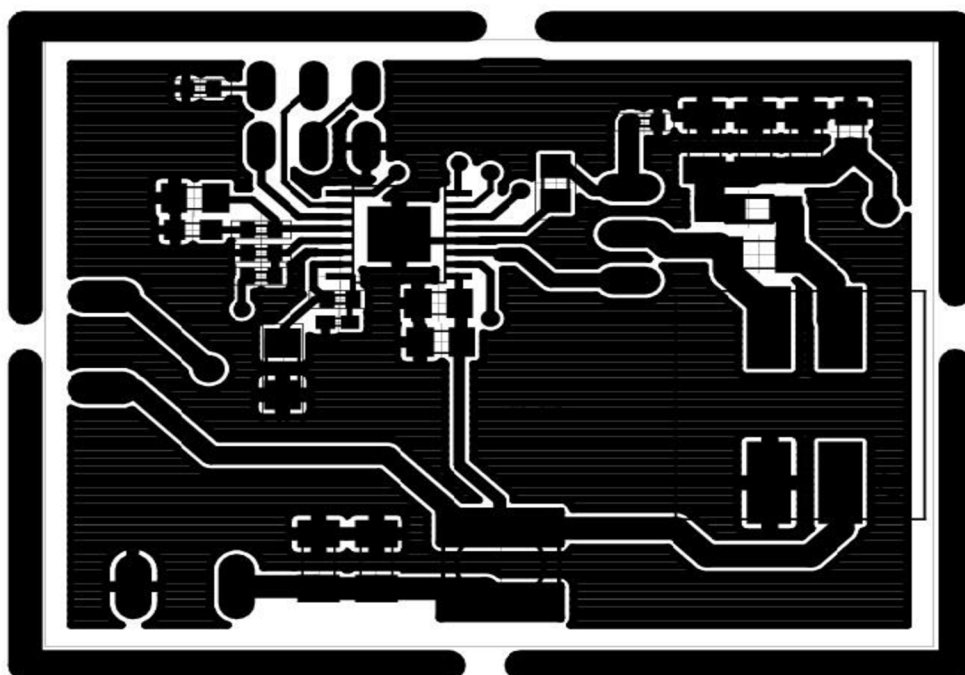
Osazovací plán – strana bottom (45,5 x 35 mm)



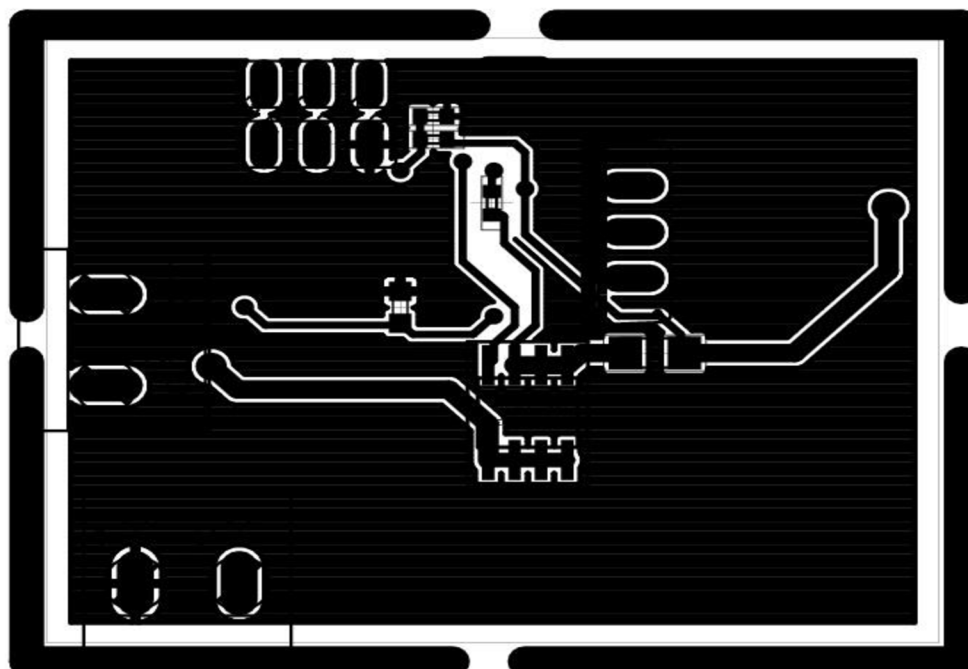
Osazovací plán – strana top (45,5 x 35 mm)



## B. 2 Deska plošného spoje SEPIC

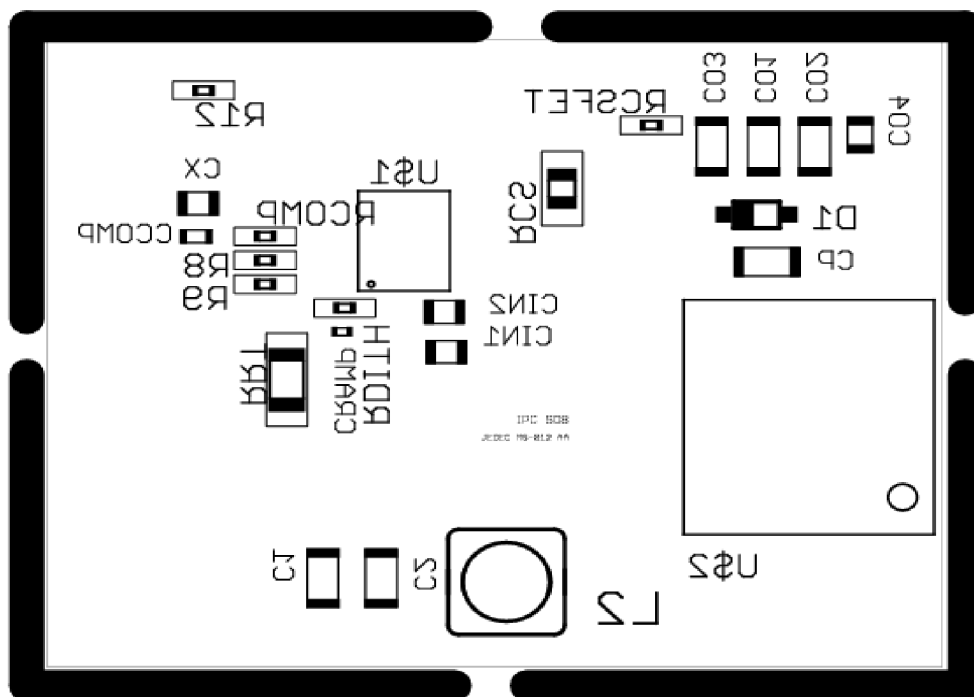


Deska plošného spoje – strana bottom (45,5 x 35 mm)

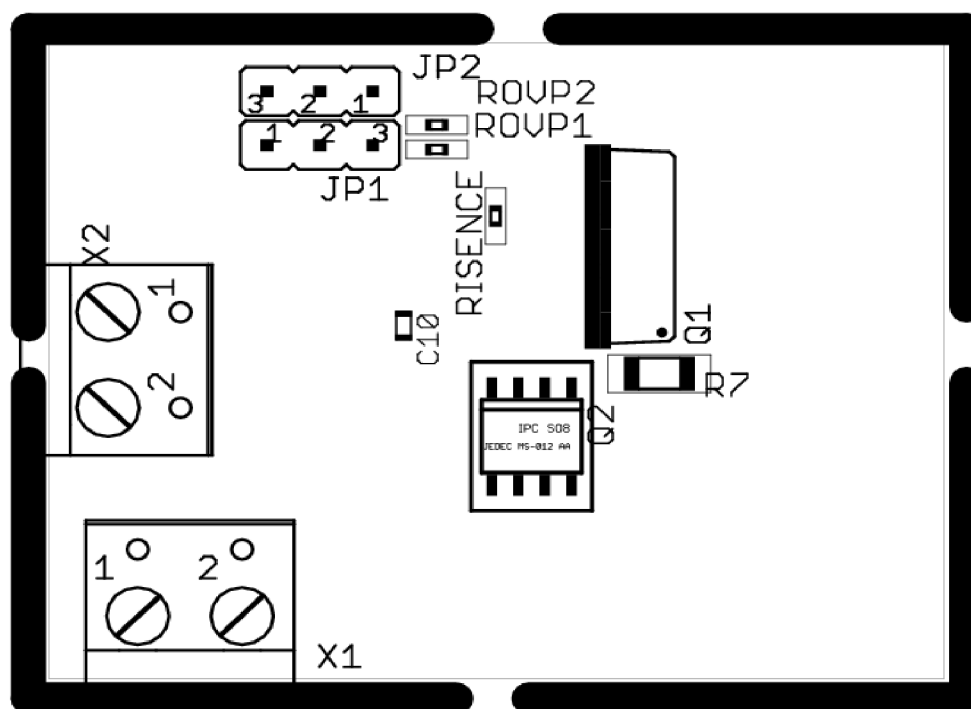


Deska plošného spoje – strana top (45,5 x 35 mm)

### B. 3 Osazovací plán SEPIC

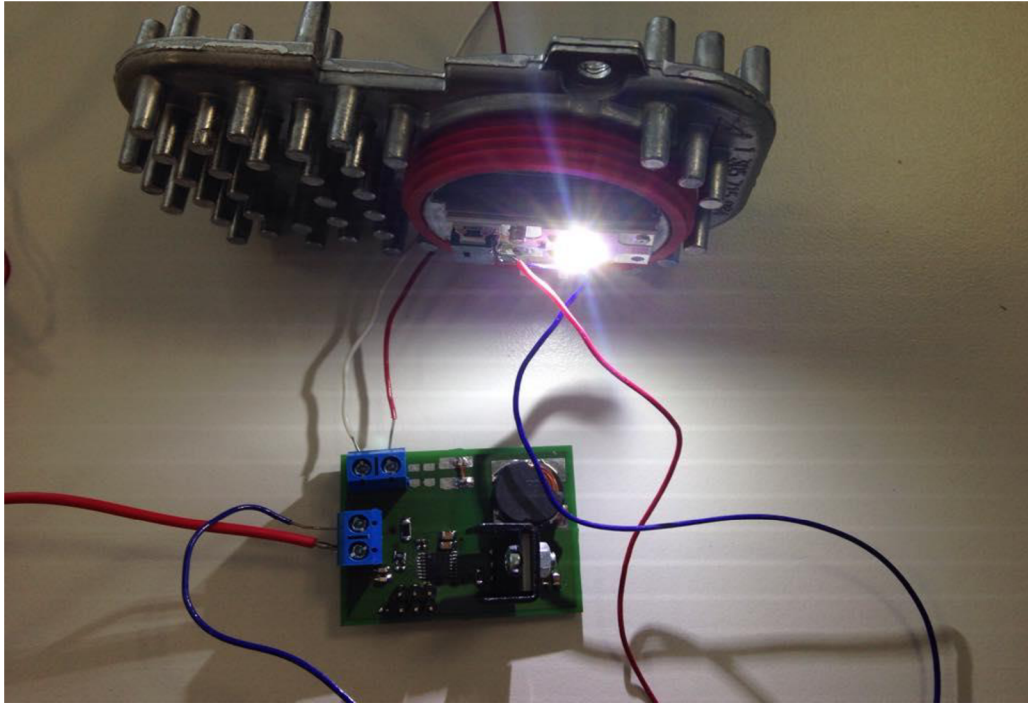


Osazovací plán – strana bottom (45,5 x 35 mm)

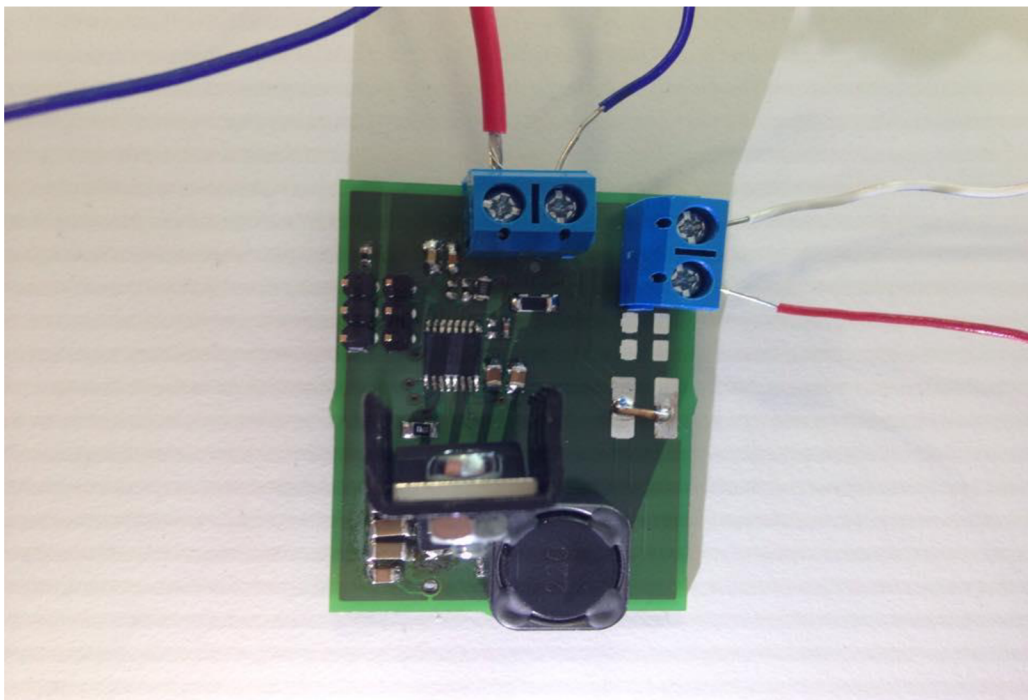


Osazovací plán – strana top (45,5 x 35 mm)

## C. 1 Fotodokumentace



Buck – Boost



SEPIC



## C. 2 Seznam součástek

typ	hodnota	pouzdro	poznámka
R12	10 k $\Omega$	0402	
R7	0, 2 $\Omega$	1206	Rcsled
R8	10 k $\Omega$	0402	
R9	10,5 k $\Omega$	0805	
Rcs	1,74 k $\Omega$	0805	-
Rcsfet	0,075 $\Omega$	0805	
Rrt	15,4 k $\Omega$	1206	
Rovp1	330 k $\Omega$	0805	
Rovp2	10 k $\Omega$	0805	
Rdith	121 k $\Omega$	0402	dithering
Risense	100 $\Omega$	0402	isense_pin
Rcomp	120 $\Omega$	0402	
Cout	4,7 $\mu$ F	0805	*1
Cin	4,7 $\mu$ F	0805	*2
Cout	10 $\mu$ F	1206	*3
Ccomp	0,27 $\mu$ F	0603	
Cx	1 $\mu$ F	0603	
Cp	1 $\mu$ F	1206	*1
C1,2	0,1 $\mu$ F	1206	Filter capacitor LC, *2
D1		SOD-123W	schottky
L1	18 $\mu$ H		13mm x 13mm x 7mm, SMD
L2	22 $\mu$ H		coupled, 12,5mm x 12,5 mm x 8mm
L3	22 $\mu$ H		Choke inductor LC
Q1	SUP90N04-3m3P	TO-220AB	switching N-MOSFET
Q2	Si4835DDY	SO-8	dimming P-MOSFET
Cramp	0,1 $\mu$ F	0402	
C10	1 $\mu$ F	0603	Vcc kondenzátor (min. hodnota)
IO	MAX16833	TSSOP-16-EP	
X1	con- wago-500	W237-102	vstup
X2	con- wago-500	W237-102	výstup
JP1		JP2	propojka
JP2		JP2	propojka