



Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh a konstrukce řídicí jednotky pro vysoce svítivé LED diody

Autor práce: Ondřej Bouzek
Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Freisleben

Plzeň 2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej BOUZEK**
Osobní číslo: **E10B0145P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Návrh a konstrukce řídicí jednotky pro vysoce svítivé LED diody**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s dostupnými řídicími obvody pro vysoce svítivé LED diody.
2. Navrhněte a realizujte řídicí jednotku založenou na jednom zvoleném obvodu.
3. Vytvořené technické a programové prostředky podrobně popište.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky při realizaci řídicí jednotky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

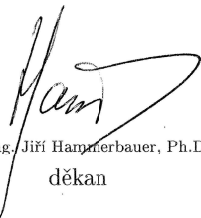
1. Burkhard, M.: C pro mikrokontroléry
2. Krejčík, A.: DC/DC měniče
3. Firemní literatura a katalogy výrobců zvolených součástek a obvodů
4. Elektronické informační zdroje

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Freisleben**
Katedra technologií a měření

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Freisleben**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**



Doc. Ing. Jiří Hampeřbauer, Ph.D.
děkan



L.S.



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o DC/DC měničích a jejich využití pro řízení vysoce svítivých LED diod. Pro realizaci byl použit model LT3518 a to v provedení buck-boost, které se pro konkrétní aplikaci ukázalo jako nepříliš vhodné. Následně byl realizován přípravek se stejným měničem, ale v provedení buck. Výsledky tohoto zapojení již byly uspokojivé. U tohoto měniče lze přímo regulovat hodnotu výstupního proudu a zároveň využívat pulsně šířkovou modulaci. O řízení celého přípravku se stará osmibitový mikrokontrolér PIC16F1509.

Klíčová slova

DC/DC měniče, vysoce svítivé LED, mikrokontrolér

Abstract

Bouzek, Ondřej. *Design of control unit for high-brightness LED emitters [Návrh a konstrukce řídicí jednotky pro vysoce svítivé LED diody]*. Pilsen, 2013. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Jaroslav Freisleben

The goal of this bachelor thesis is to design a control unit for high-brightness LEDs. In the first realization, DC/DC convertor LT3518 was used in buck-boost topology. It wasn't really suitable. So in the second realization the DC/DC converter was plugged in the buck topology that was proved to be more appropriate. This converter changes the output current and uses pulse-width modulation. The whole unit is controlled by the eight-bit microcontroller PIC16F1509.

Keywords

DC/DC converters, high-brightness LED, microcontroller

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci 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 závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 7. června 2013

Ondřej Bouzek

.....

Podpis

Obsah

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	viii
Seznam symbolů a zkratek	ix
1 Úvod	1
2 Teorie DC/DC měničů	2
2.1 Využití DC/DC měničů	2
2.2 Rozdělení DC/DC měničů	2
2.3 Měniče s lineárními obvody	3
2.4 Měniče s cívkami	3
2.4.1 Snižující měnič (buck) - step down	4
2.4.2 Zvyšující měnič (boost) - step up	5
2.4.3 Snižující a zvyšující měnič (cuk)	6
2.5 Měniče s transformátory	7
3 Dostupné DC/DC měniče	8
3.1 Měnič LT3518	9
4 Navržené hardwarové řešení	12
4.1 Mikrokontrolér PIC16F1509	12
4.2 LCD displej s radičem	15
4.3 Inkrementální kolečko	16
4.4 Topologie buck - boost	16
4.5 Topologie buck	19
5 Navržené programové řešení	23
6 Závěr	26
Reference, použitá literatura	27
Přílohy	28

A Schémata zapojení	28
B Desky plošných spojů, výkresy	30
C Zdrojový kód programu mikrokontroléru	33

Seznam obrázků

2.1	Základní zapojení lineárního regulátoru napětí	3
2.2	Závislost parametrů měniče na kmitočtu Převzato z [1] 	4
2.3	Snižující měnič - sepnutý tranzistor	4
2.4	Snižující měnič - rozepnutý tranzistor	5
2.5	Zvyšující měnič - sepnutý tranzistor	5
2.6	Zvyšující měnič - rozepnutý tranzistor	6
2.7	Snižující a zvyšující měnič - rozepnutý tranzistor	6
2.8	Snižující a zvyšující měnič - sepnutý tranzistor	7
3.1	V-A charakteristika LED diody LZ1-00R200 Převzato z firemní literatury 	8
3.2	LT3518 - závislost spínací frekvence na odporu R_T Převzato z [3] 	10
3.3	Blokové schéma LT3518 - zapojení buck Převzato z [3] 	11
4.1	Zjednodušené schéma I/O pinu Převzato z [4] 	13
4.2	Schéma DA převodníku PIC16F1509 Převzato z [4] 	14
4.3	Blokové schéma timeru2 Převzato z [4] 	14
4.4	Ukázka funkce PWM modulu Převzato z [4] 	15
4.5	Blokové schéma PWM modulu Převzato z [4] 	15
4.6	Blokové schéma LCD displeje Převzato z firemní literatury 	16
4.7	Ukázka spínání inkrementálního kolečka	16
4.8	Schéma zapojení realizované topologie buck-boost Převzato a upraveno z [3] 	17
4.9	Graf proudu zátěží o odporu $R=18 \Omega$ při paralelní kapacitě $C=4,7 \mu F$	18
4.10	Graf proudu zátěží o odporu $R=18 \Omega$ při paralelní kapacitě $C=1 \mu F$	18
4.11	Graf proudu zátěží o odporu $R=18 \Omega$ při paralelní kapacitě $C=0,1 \mu F$	18
4.12	Graf proudu zátěží o odporu $R=28 \Omega$	19
4.13	Graf proudu zátěží o odporu $R=28 \Omega$ při využití PWM	19
4.14	Graf proudu zátěží o odporu $R=28 \Omega$ při využití PWM i regulace proudu	19
4.15	Schéma zapojení realizované topologie buck Převzato a upraveno z [3] 	20
4.16	Naměřený průběh napětí na odporu $R=25 \Omega$ se střídou 50 %	21
4.17	Naměřený průběh napětí na odporu $R=25 \Omega$ se střídou 0,3 %	21
4.18	Naměřený průběh napětí na přípravku se 4 LED diodami se střídou 50 %	21
4.19	Naměřený průběh napětí na přípravku se 4 LED diodami se střídou 0,3 %	22

5.1	Vývojový diagram programu mikrokontroléru	25
A.1	Schéma zapojení navržené topologie buck-boost	28
A.2	Schéma zapojení navržené topologie buck	29
B.1	Navržená DPS - topologie buck-boost - horní strana	30
B.2	Navržená DPS - topologie buck-boost - spodní strana	31
B.3	Navržená DPS - topologie buck - horní strana	31
B.4	Navržená DPS - topologie buck - spodní strana	32

Seznam tabulek

3.1	Srovnání dostupných měničů	9
5.1	Řídící příkazy displeje	24
5.2	Význam jednotlivých bitů příkazů	24

Seznam symbolů a zkratek

PWM	Pulse-Width Modulation. Pulsně šířková modulace.
LED	Light-Emitting Diode (Device). Dioda(zařízení) emitující světlo.
LCD	Liquid Crystal Display. Display z tekutých krystalů.
DAC	Digital to Analog Converter. Číslicově analogový převodník.
ADC	Analog to Digital Converter. Analogově číslicový převodník.
DC	Direct Current. Stejnoseměrný proud.
DPS	Deska plošných spojů.

1

Úvod

V dnešní době jsou vysoce svítivé LED diody nedílnou součástí mnoha aplikací. Díky jejich typicky velké účinnosti postupně vytlačují klasické zdroje světla jako jsou zářivky nebo žárovky s wolframovým vláknem. Uplatnění najdou například ve svítelnách, v reflektorech automobilů či v osvětlení domácností.

Úkolem této práce je navrhnout a zkonstruovat zařízení, které bude schopno napájet přípravky s variabilním počtem sériově zapojených LED diod s možností regulace. To znamená měnit výstupní napětí v závislosti na připojené zátěži, aby proud zátěží dosahoval námi požadovaných hodnot. Tento problém lze řešit pomocí DC/DC měniče, který bude řízen v závislosti na úbytku napětí na odporu zapojeném v sérii k LED diodám. Tímto způsobem se z měniče stává zdroj proudu.

Regulaci lze realizovat dvěma způsoby. První z nich je regulace napětí, se kterým se porovnává úbytek na odporu v sérii se zátěží. Tím se bude ovládat výsledný proud LED diodami. Druhá možnost je řízení pomocí pulzně šířkové modulace (PWM). V tomto případě se mění pouze šířka pulsů maximálního proudu.

Tato práce se dělí do 4 kapitol. První z nich se týká teorie stejnoměrných měničů napětí. Druhá kapitola je zaměřena na dostupné DC/DC měniče a také je zde podrobně popsán integrovaný obvod LT3518. Hardwarové řešení obvodů výše zmíněného měniče je popsáno v kapitole třetí, čtvrtá kapitola pak pojednává o řešení softwarovém. V závěru jsou shrnuty výsledky této bakalářské práce a možné návrhy na vylepšení.

2

Teorie DC/DC měničů

2.1 Využití DC/DC měničů

DC/DC měnič je obecně obvod určený pro změnu velikosti stejnosměrného napětí nebo proudu. Toho se hojně využívá ve spínaných zdrojích nebo u akumulátory napájených přístrojů, kde často potřebujeme jiné napětí, než nám mohou akumulátory nabídnout. V neposlední řadě je najdeme také právě ve zdrojích proudu pro LED diody.

2.2 Rozdělení DC/DC měničů

- **Měniče s lineárními obvody**

Tyto měniče obsahují lineární stabilizátory (parametrické nebo zpětnovazební monolitické) a mohou napětí pouze snižovat. Vstup je galvanicky propojen s výstupem a jejich účinnost je typicky malá.

- **Měniče bez indukčnosti (se spínanými kondenzátory)**

Tato skupina je určena pro malé proudové odběry, obvykle je využívána pro zdvojnásobení a inverzi vstupního napětí. Výstup je opět galvanicky spojen se vstupem.

- **Měniče s cívkami**

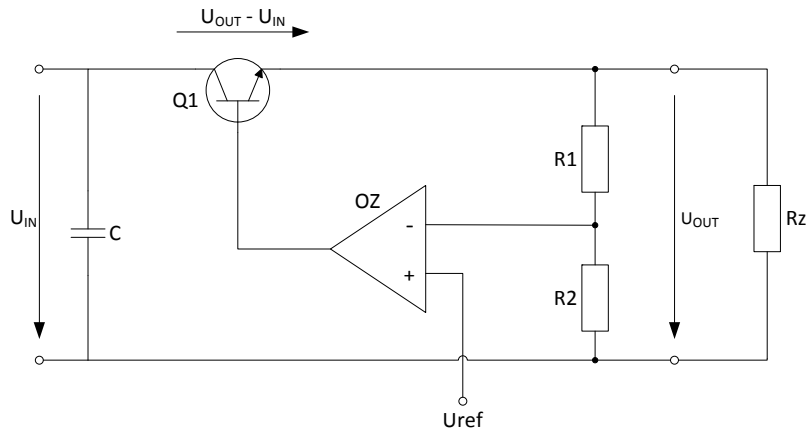
Měniče s cívkami se vyznačují vysokou účinností a možností zvyšovat, snižovat či invertovat napětí na vstupu, které taktéž není galvanicky odděleno od vstupu.

- **Měniče s transformátory**

Požadujeme-li od měniče galvanicky izolovaný vstup a výstup, je nutné v jeho zapojení použít transformátor. K těmto zapojením můžeme dospět i při velkém požadovaném výstupním výkonu, kdy by u zapojení s cívkou vedlo k jejím velkým rozměrům.

2.3 Měníče s lineárními obvody

Tato skupina měničů má vždy galvanicky spojen vstup s výstupem a jeho výstupní napětí je vždy nižší než napětí vstupní. Na obrázku 2.1 je základní zapojení zpětnovazebného regulátoru napětí, zde je výstupní napětí dáno rovnicí 2.1. Toto zapojení je základem integrovaných stabilizátorů napětí, které mají většinou zdroj referenčního napětí a hodnota napětí na výstupu je buď pevně stanovena nebo ji uživatel může nastavit vhodnou kombinací odporů **R1** a **R2**.



Obr. 2.1: Základní zapojení lineárního regulátoru napětí

$$U_{OUT} = U_{Ref} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad [V] \quad (2.1)$$

$$\eta = \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.2)$$

Využití tyto měniče najdou především v aplikacích, kde se hodnoty vstupního a výstupního napětí příliš neliší. Při zanedbání spotřeby integrovaného obvodu je účinnost dána právě jejich poměrem (rovnice 2.2).

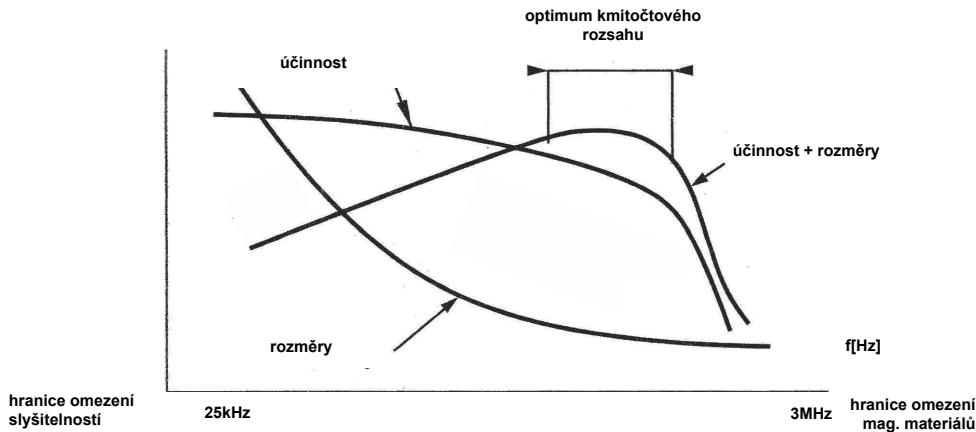
V porovnání se spínacími měniči jsou tyto obvody poměrně jednoduché a levné, dokáží rychle reagovat na změnu zátěže a hlavně zde díky absenci spínacích prvků nevzniká rušení. Mezi jejich nevýhody se řadí malá účinnost, nemožnost konvergovat na vyšší napětí, nemožnost galvanického oddělení a malá výkonová zatížitelnost.

2.4 Měníče s cívkami

Pro naše potřeby budou nejvhodnější měniče s cívkami, které disponují vysokou účinností a poměrně malými rozměry. Proto se v mé práci budu věnovat především této skupině.

Důležitým parametrem u těchto obvodů je spínací frekvence. Při jejím zvyšování klesají nároky na velikosti akumulacních prvků tj. cívek a kondenzátorů. Na druhou stranu

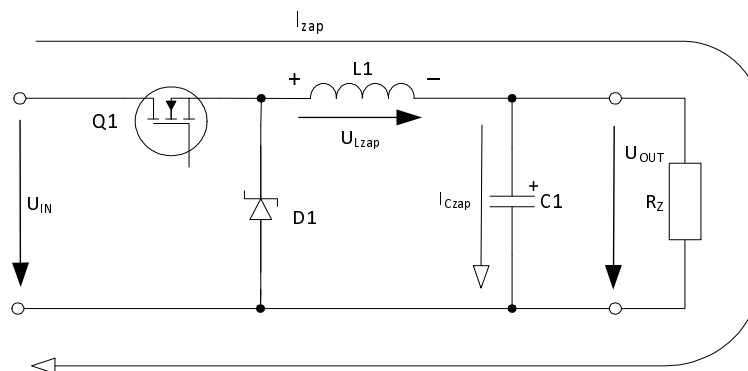
větší počet sepnutí a rozepnutí spínacích tranzistorů za jednotku času způsobí ztrátu výkonu, který se přeměňuje na teplo na spínací součástce. Další ztráty závislé na frekvenci představují napěťové špičky, způsobené rozpínáním indukčních zátěží. Při návrhu je tedy dobré nalézt takovou frekvenci, která bude odpovídat našim požadavkům. Závislost účinnosti a rozměrů součástek na frekvenci je patrna z obrázku 2.2.



Obr. 2.2: Závislost parametrů měniče na kmitočtu |Převzato z [1]|

2.4.1 Snižující měnič (buck) - step down

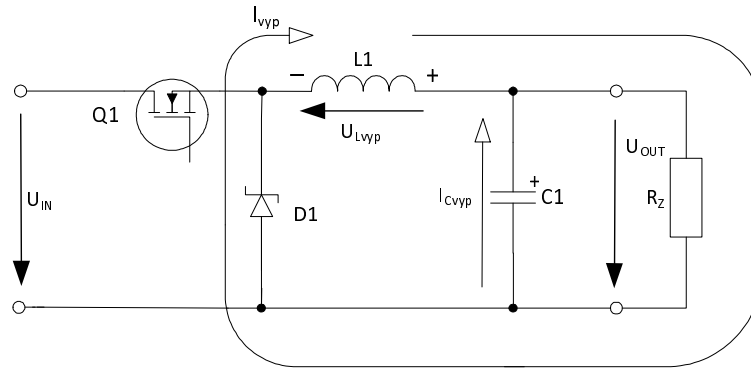
Snižující měnič, jak z názvu vyplývá, se používá v případech, kdy chceme snížit hodnotu stejnosměrného napětí (proudu).



Obr. 2.3: Snižující měnič - sepnutý tranzistor

Jejich funkce je založena na dvou intervalech činnosti. V prvním z nich (obrázek 2.3) je tranzistor **Q1** zapnut a proud I_{zap} se uzavírá přes cívku **L1** do zátěže. Cívka se chová jako spotřebič a napětí na ní U_{Lzap} je ve stejném smyslu jako proud. Výstupní napětí U_{OUT} roste a kondenzátor **C1** se nabíjí proudem I_{Czap} .

V druhém kroku (obrázek 2.4) se tranzistor **Q1** vypne a na cívce **L1** se při zachovaném směru proudu I_{Lvypp} otočí polarita napětí U_{Lvypp} , cívka se tedy stává zdrojem. Dále se mění



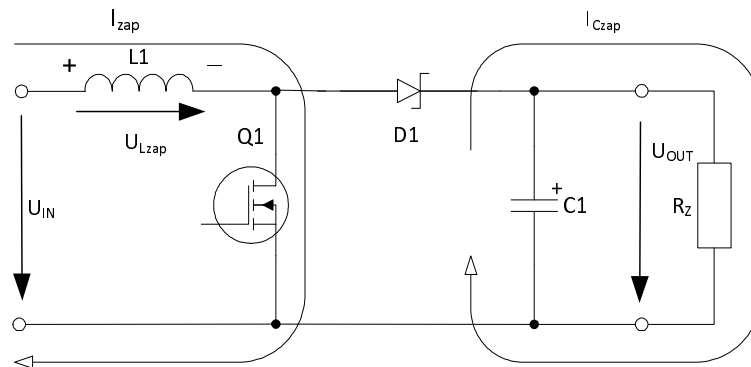
Obr. 2.4: Snižující měnič - rozepnutý tranzistor

polarita proudu na kondenzátoru I_{Cvyp} , který se spolu s proudem I_{Lvyp} uzavírá přes zátěž R_Z . Zvětšování kapacity $C1$ způsobí menší zvlnění výstupního napětí.

2.4.2 Zvyšující měnič (boost) - step up

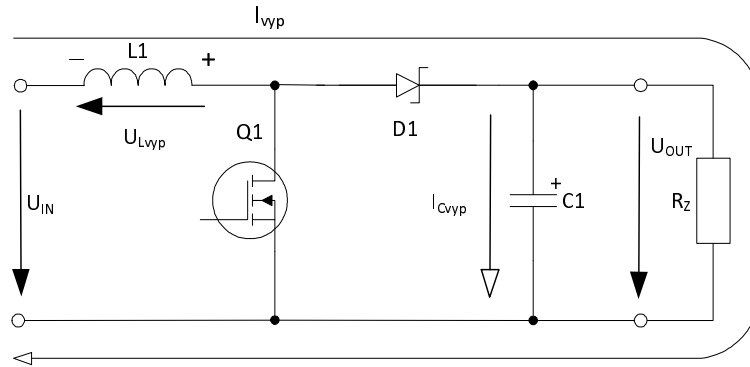
Zvyšující topologie funguje taktéž ve dvou intervalech. První z nich (sepnutý tranzistor $Q1$) je znázorněn na obrázku 2.5. V tomto kroku se cívka $L1$ chová jako spotřebič a napětí na ní má stejnou orientaci jako proud I_{zap} , který lineárně roste. Energie se tedy akumuluje v magnetickém poli cívky.

Proud zátěží I_{Czap} je dodáván pouze z kondenzátoru $C1$ (je-li nabit). Proti jeho vybití je v obvodu zapojena dioda $D1$.



Obr. 2.5: Zvyšující měnič - sepnutý tranzistor

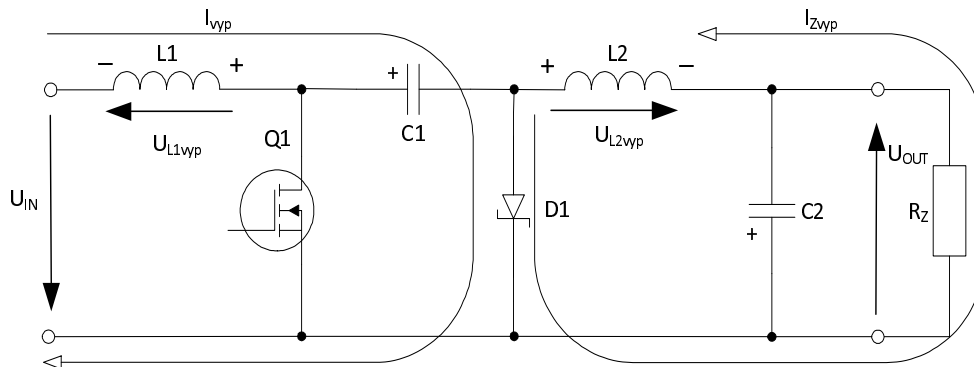
Ve druhé fázi (obrázek 2.6) je tranzistor rozepnut a proud I_{vyp} protéká ze zdroje o napětí U_{IN} a cívky $L1$ do zátěže R_Z a kondenzátoru $C1$. Napětí na cívce U_{Lvyp} obrátilo polaritu a cívka se chová jako zdroj v sérii se vstupním napětím U_{IN} . Hodnota výstupního napětí U_{OUT} je dáno součtem napětí vstupního U_{IN} a naindukovaného U_{Lvyp} . Díky tomu bude napětí na výstupu vždy vyšší než napětí vstupu.



Obr. 2.6: Zvyšující měnič - rozeptnutý tranzistor

2.4.3 Snižující a zvyšující měnič (cuk)

Topologie cuk nebo buck-boost, jak se v některé literatuře označují tyto obvody, umí napětí jak zvyšovat, tak snižovat, ale také obrací jeho polaritu. Respektive jsou schopny dodávat konstantní napětí nezávisle na napětí napájecím. Toho se hojně využívá v akumulátorech napájených přístrojích, kdy při vybití akumulátoru dochází k poklesu jeho napětí. Při plném nabití tedy měnič funguje jako snižující, postupem času výstupní napětí zvyšuje.



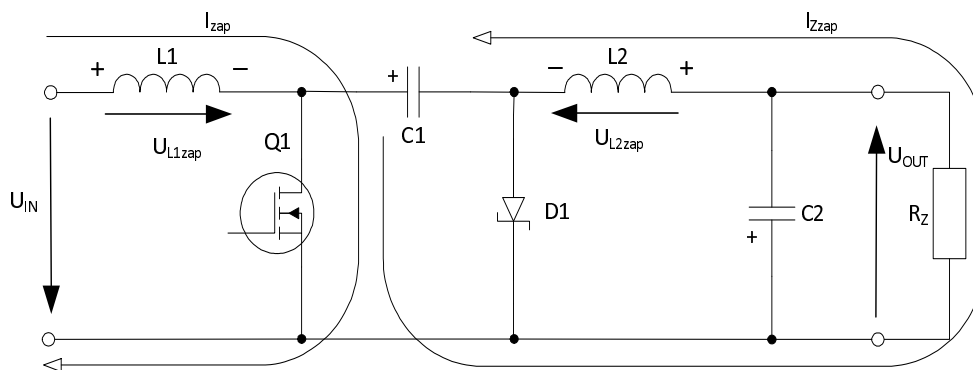
Obr. 2.7: Snižující a zvyšující měnič - rozeptnutý tranzistor

Obrázek 2.7 ilustruje první interval činnosti. Tranzistor **Q1** je vypnutý, cívka **L1** se chová jako zdroj a spolu se vstupním napětím U_{IN} nabíjí kondenzátor **C1**. Ten může být v závislosti na intervalu rozeptnutí tranzistoru **Q1** nabit až na hodnotu $U_{IN} + U_{L1vyp}$. Energie naakumulovaná v cívce **L1** klesá, tím pádem při dostatečně dlouho rozeptnutém tranzistoru **Q1** by došlo k vybití kondenzátoru zpět do zdroje. K tomu by ale při správném časování docházet nemělo.

V magnetickém poli cívky **L2** je z předchozích kroků uložena energie, která z ní dělá zdroj proudu I_{Zvyp} , který se uzavírá přes diodu **D1** a zátěž **R_Z**.

Dalším krokem činnosti je opětovné sepnutí tranzistoru **Q1** (obrázek 2.8). Cívka **L1** se chová jako spotřebič a proud I_{L1zap} roste.

Kladný pól kondenzátoru **C1** je spojen se zemí, což mu umožňuje vybit se proudem



Obr. 2.8: Snižující a zvyšující měnič - sepnutý tranzistor

I_{Zzap} do zátěže R_Z paralelně ke kondenzátoru $C2$ a cívky $L2$, která je v tomto kroku spotřebič a napětí U_{L2vyp} je stejné orientace jako proud I_{Zzap} .

2.5 Měniče s transformátory

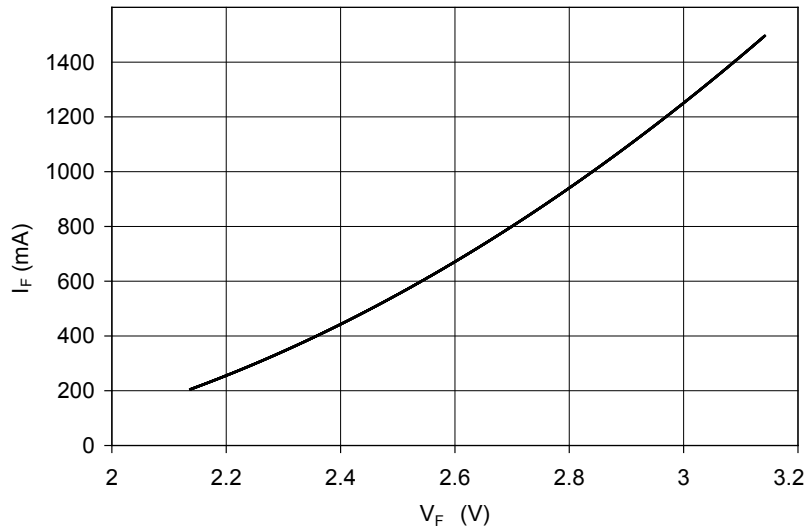
Měniče s transformátory se od předchozí skupiny s cívkami liší především v tom, že vstup a výstup je galvanicky oddělen, energie se zde akumuluje do magnetického pole transformátoru a jejich výstupní výkon bývá poměrně velký. Pomocí odboček v sekundárním vinutí transformátoru lze generovat více výstupních napětí, čehož se využívá například v počítačových zdrojích.

Pro naše potřeby není nutné vstupní napětí izolovat a požadovaný výkon nebude přesahovat několik desítek wattů, proto se této skupině nebudu dále podrobněji věnovat.

3

Dostupné DC/DC měniče

V dnešní době je dostupné nepřeberné množství DC/DC měničů. Mým úkolem bylo najít vhodný model pro univerzální řídicí a testovací jednotku pro ovládání vysoce svítivých červených LED diod určených pro generaci singletových stavů kyslíku. Konkrétně se jedná o LED diody LZ1-00R200 od společnosti LED ENGIN (jejich voltampérová charakteristika v propustném směru je na obrázku 3.1). Počet těchto diod zapojených v sérii by měl být v rozsahu 1 až 9 LED diod. Tím dostáváme požadované parametry: výstupní napětí až 26 V, výstupní proud 1 A, možnost regulace, nejlépe oběma způsoby (PWM i regulace proudu) a nepříliš složité zapojení periferních obvodů.



Obr. 3.1: V-A charakteristika LED diody LZ1-00R200 |Převzato z firemní literatury|

DC/DC měniče nabízené na trhu jsou ve většině případů integrované obvody, ke kterým je třeba spoustu součástek připojit, abychom zajistili jejich funkci. Jsou to spíše řídicí obvody pro samotný měnič, občas s implementovaným výkonovým tranzistorem.

V tabulce 3.1 jsou zaznamenány výsledky porovnávání měničů, které připadaly v úvahu. Všechny modely potřebovaly k funkci minimálně akumulaci cívku, vyhlazovací kondenzátor, schottkyho diodu a odpor, na kterém se snímá úbytek napětí, ze kterého se následně

určí proud protékající LED diodami. S větším počtem externích součástek většinou roste účinnost a přibývají funkce, které lze u konkrétního měniče využít.

Většina porovnávaných modelů měla funkci regulace proudu (v tabulce značeno jako analogové ovládání), ale ne vždy bylo možné tuto metodu využít současně s PWM.

výrobce	typ	U _{in} [V]		U _{out}	I _{out} [A]	ovládání	počet ext. Součástek bez LED			cena[Kč] ¹
		min	max	max			buck	boost	buck-boost	
DIODES INC.	ZXLD1360ET5TA	7	30	30	1	analog/PWM ²	4	-	-	54,55
LINEAR TECHNOLOGY	LT3518	3	30	45	2,3	analog/PWM	8	8	8	196,11
LINEAR TECHNOLOGY	LT3478	2,8	36	41	4,5	analog/PWM	12	10	12	271,11
LINEAR TECHNOLOGY	LT3477	2,5	25	42	3	analog/PWM	15	10	15	162,99
LINEAR TECHNOLOGY	LT3486	2,5	24	40	1,3	analog/PWM	-	9 ³	-	160,85
LINEAR TECHNOLOGY	LT3755	4,5	40	75	1	analog/PWM	16	moc velké U _{in} min	19	193,51
LINEAR TECHNOLOGY	LT3791	4,7	60	60	10	analog/PWM	30	moc velké U _{in} min	30	259,43
MAXIM	MAX16834	7,75	28	100	1,5	analog/PWM	18	18	18	-
MAXIM	MAX16802BEUA	10,8	24	100	1	analog/PWM	9	moc velké U _{in} min	-	79,55
NATIONAL SEMICONDUCTOR	LM3409QMY	6	42	42	1	analog/PWM	10	-	-	83,8
NATIONAL SEMICONDUCTOR	LM3404MA	6	42	40	1,2	PWM	8	-	-	85,72
NATIONAL SEMICONDUCTOR	LM3429Q1MH	4,5	75	75	1	analog/PWM	20	moc velké U _{in} min	20	97,76
TEXAS INSTRUMENTS	TPS61500PWP	2,9	18	38	3	analog/PWM	-	12	-	119,55
ZMDI	ZLED7020-ZI1R	6	40	50	1,2	analog/PWM	5	-	-	49,03
ZMDI	ZLED7330-ZI1R	8,5	40	40	1,2	jiné ⁴	5	-	-	104,22

Tab. 3.1: Srovnání dostupných měničů

3.1 Měnič LT3518

Nakonec jsem se rozhodl pro měnič LT3518 od společnosti Linear Technology, který by měl všechny naše požadavky splňovat s poměrně malým počtem externích součástek.

Jeho vnější obvody lze zapojit do topologií buck, boost i buck-boost. Na obrázku 3.3 je zobrazeno blokové uspořádání v zapojení snižujícího měniče. Jako **Q1** je zde označen vnitřní výkonový spínač, který je dimenzován na napětí 45 V a proud 2,4 A, a může být spínán frekvencemi od 250 kHz do 2,5 MHz.

Nastavení výstupního proudu

Proud protékající zátěží (LED diodami) je pro nás jeden z nejdůležitějších parametrů, je tedy dobré se zaměřit na jeho nastavení. Jeho hodnota se odvíjí od velikosti rezistoru **R_{SENSE}**, na němž se měří úbytek napětí a vynásobený 10 se porovnává s referenční hodnotou jednoho voltu. Výsledný proud se vypočte dle vztahu 3.1 při napětí na pinu **CTRL** větším než 1 V.

$$I_{LED} = \frac{100mV}{R_{SENSE}} \quad [A] \quad (3.1)$$

¹cena ze stránek <http://www.farnell.com> při koupi 1 kusu

²při vyšších frekvencích PWM signálu se díky vnitřní dolní propusti řídí hodnota výstupního proudu

³u tohoto měniče by bylo možné zapojit 2 řady LED diod a každou řadu řídit zvlášť

⁴přerušením napájecího napětí se nastaví jedna ze tří možných hodnot výstupního proudu (př.: 1. přerušení ⇒ 60 % nastaveného proudu 2. přerušení ⇒ 30 % 3. přerušení ⇒ 100 % ...)

Pokud chceme hodnotu proudu snížit, je možné ho regulovat napětím na pinu **CTRL**. Poklesne-li pod hodnotu 1 V, porovnává komparátor **A1** úbytek na snímacím odporu R_{SENSE} právě s tímto napětím a pro proud na výstupu platí rovnice 3.2.

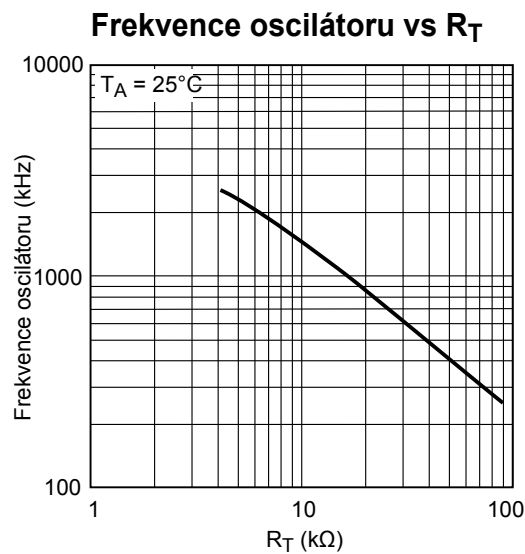
$$I_{LED} = \frac{U_{CTRL}}{10 \cdot R_{SENSE}} \quad [A] \quad (3.2)$$

Řízení pomocí pulzně šířkové modulace

Je-li v obvodu požadované řízení pomocí PWM, je nutné na pin **TGEN** přivést napětí minimálně 1,5 V a připojit externí tranzistor typu PMOS na pin **TG**. Pak stačí jen dodávat na vstup **PWM** řídicí impulsy s minimální šířkou šesti spínacích taktů.

Nastavení spínací frekvence

Frekvence spínání vnitřního tranzistoru se nastavuje buď externími hodinovými pulsy na pin **SYNC** nebo pomocí externího rezistoru R_T (**SYNC** zapojen na zem). Velikost tohoto odporu lze určit pomocí grafu na obrázku 3.2.

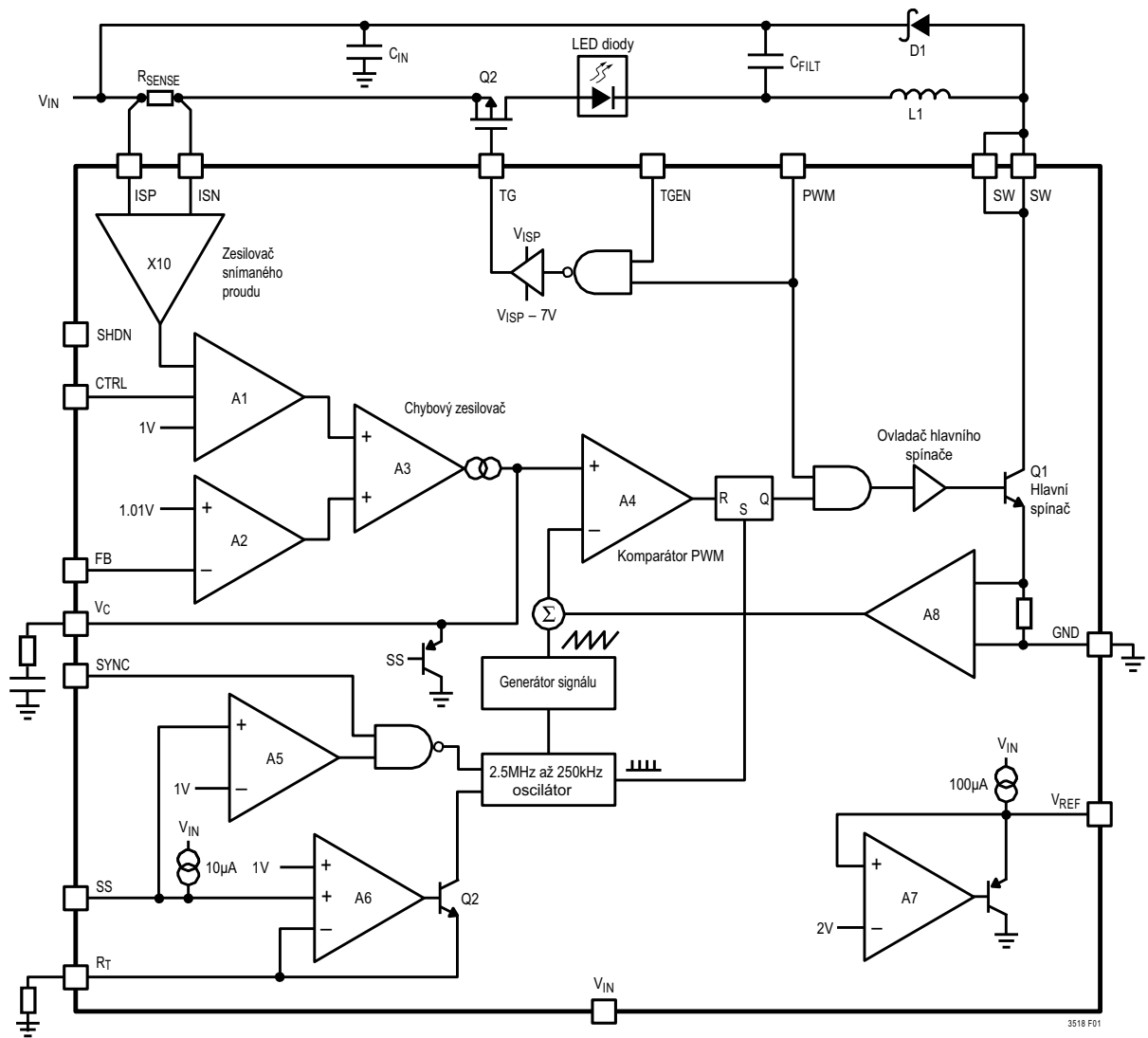


Obr. 3.2: LT3518 - závislost spínací frekvence na odporu R_T [Převzato z [3]]

Další funkce

Mezi další funkce, které model LT3518 umí, patří například funkce soft-start, díky které je náběh výstupního proudu pozvolnější. Tato funkce se aktivuje pomocí kondenzátoru (typicky 0,1 μF) mezi pin **SS** a zem.

Port **FB** (feed-back) je určen pro hlídání maximálního výstupního napětí. Tato hodnota se nejčastěji nastavuje pomocí odporového děliče tak, aby při tomto maximálním napětí bylo napětí na pinu **FB** 1,01 V. Protože v naší aplikaci potřebujeme variabilní napětí na výstupu měniče, je tato funkce pro nás nepotřebná.



Obr. 3.3: Blokové schéma LT3518 - zapojení buck [Převzato z [3]]

4

Navržené hardwarové řešení

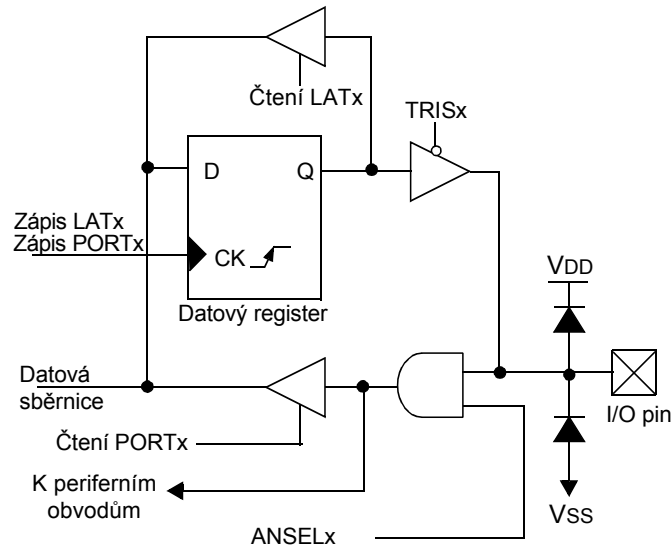
4.1 Mikrokontrolér PIC16F1509

Požadavků pro výběr řídicího mikrokontroléru nebylo mnoho. Jedním z nich byl DA převodník, který by ovládal proudový výstup měniče. Dále byl třeba jeden PWM výstup pro řízení měniče pulzně šířkovou modulací a dostatek vstupně/výstupních pinů pro inkrementální kolečko, kterým se bude zařízení ovládat, a LCD displej s řadičem, kde se budou zobrazovat informace o stavu obou regulací. Mé předchozí zkušenosti s výrobky firmy Microchip předurčovali volbu pro mikrokontrolér této značky. Konkrétně se jedná o model PIC16F1509, který disponuje 18-ti I/O piny, DA převodníkem i PWM modulem. Jako zdroj hodinových pulsů lze využít interní oscilátor, jehož frekvence může nabývat hodnot až 16 Mhz.

Vstupně-výstupní porty

Mikrokontrolér má celkem 3 I/O brány (**PORTA**, **PORTB** a **PORTC**). Jediný **PORTC** je kompletní, tj. osmipinový, **PORTA** má 6 pinů (**RA0** až **RA5**) a **PORTB** má piny jen 4 (**RB4** až **RB7**). Obecné zjednodušené schéma I/O pinu je na obrázku 4.1.

K řízení jednotlivých vstupů či výstupů slouží několik registrů. Registr **TRISx** určuje, zda bude pin sloužit k zápisu (logická 0) či ke čtení (logická 1). **ANSELx** je pak registr, kterým určujeme, zda data budeme číst jako digitální (logická 1) nebo analogová. Zapisovat data můžeme skrz registr **PORTx** či **LATx**. Obě možnosti mají stejný výsledek. Rozdíl je patrný teprve při čtení, kdy z **PORTx** vyčteme hodnotu, která je fyzicky na konkrétním pinu, zatímco na **LATx** bude poslední zapisovaná hodnota. Toho se může využít například při operacích, kdy chceme z pinu číst, ale přitom nechceme přijít o data na něm. Některé porty mají navíc registr **WPUx** (weak pull-up), díky kterému mohou být připojeny přes pull-up odpor na napájecí napětí (reprezentující logickou 1). Vstup je samozřejmě chráněn diodami proti poškození přepětím.



Obr. 4.1: Zjednodušené schéma I/O pinu [Převzato z [4]]

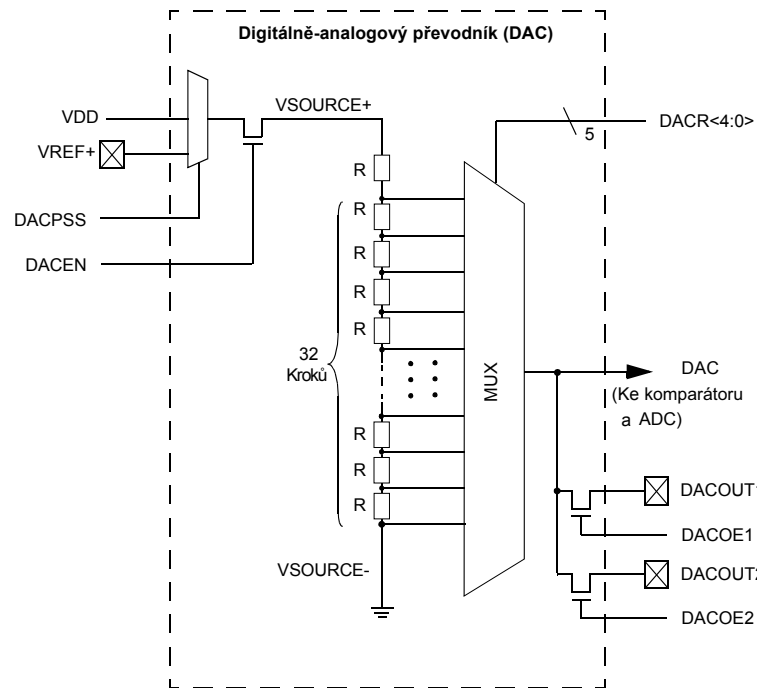
Digitálně analogový převodník

DA převodník, kterým mikrokontrolér disponuje (obrázek 4.2), má rozlišovací schopnost 5 bitů, to znamená, že na jeho výstupu může být až 32 různých hodnot. Tento převodník je využit k řízení výstupního proudu LED diod dle rovnice 3.2, kde U_{CTRL} je právě napětí na výstupu DA převodníku. Rozsah řízení je 0 V až 1 V a to by při napětí na **VSOURCE+** o velikosti 5 V znamenalo pouze 6 možných hodnot v řízeném rozsahu. Proto je napětí **VSOURCE+** dáno pinem **VREF+**, na kterém je hodnota napětí nastavena odporovým děličem z odporů 10 kΩ a 3 kΩ mezi **VDD** a zemí podle vztahu 4.1.

$$\begin{aligned} V_{REF+} &= V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ &= 5 \cdot \frac{3000}{10000 + 3000} \\ &= 1,15 \quad [V] \end{aligned} \quad (4.1)$$

Výstupní napětí se nastavuje multiplexorem pomocí dolních pěti bitů registru **DACR** a jeho hodnotu lze za předpokladu že **VSOURCE-**=0 určit dle rovnice 4.2. Toto napětí může být dále vedeno do AD převodníku, komparátoru či do jednoho z výstupních pinů **DACOUT1** nebo **DACOUT2**.

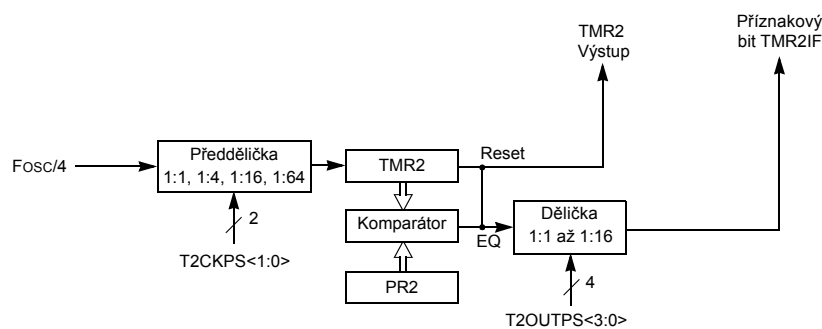
$$V_{OUT} = V_{SOURCE+} \cdot \frac{DACR[4:0]}{2^5} \quad [V] \quad (4.2)$$



Obr. 4.2: Schéma DA převodníku PIC16F1509 [Převzato z [4]]

Timer 2

Timer 2 je v našem případě důležitý, protože je využit v PWM modulu. Na jeho vstupu je čtyřikrát zmenšená frekvence vnitřních hodin mikrokontroléru, kterou můžeme dále modifikovat předděličkou. Registrem **PR2** můžeme nastavit, zda bude timer čítat až do hodnoty 255 nebo menší. Modul timeru 2 obsahuje ještě jednu děličku frekvence, která slouží k aktivaci příznakového bitu až po několika přetečení timeru případně rovnosti s registrem **PR2** (až 16 přetečení).

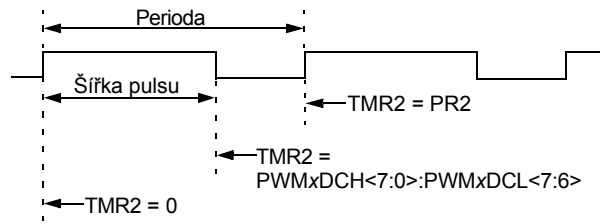


Obr. 4.3: Blokové schéma timeru2 [Převzato z [4]]

PWM modul

Blokové schéma PWM modulu je na obrázku 4.5, jeho princip činnosti pak znázorňuje obrázek 4.4. Timer 2 je zde vhodně rozšířen o 2 nejnižší bity tak, aby byl 10-ti bitový. Délka periody je dána rovností registrů **TMR2** a **PR2**. Šířka pulsu je nastavena pomocí

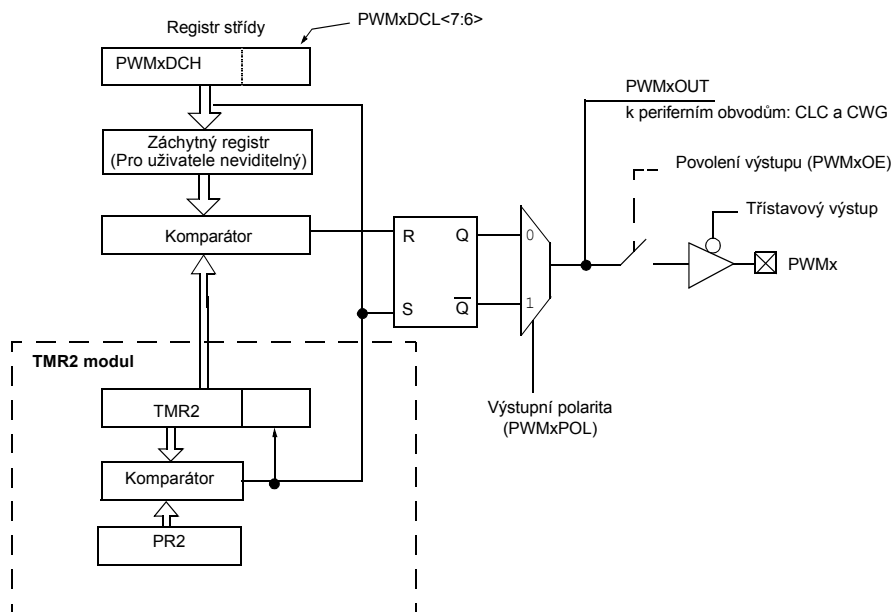
registrů **PWMxDCH** a **PWMxDCL** (horní 2 bity). Pomocí bitu **PWMxPOL** lze



Obr. 4.4: Ukázka funkce PWM modulu [Převzato z [4]]

nastavit výstupní polaritu modulace. Při nastavení polaritu na 1 se v případě rovnosti registrů **TMR2** a **PWMxDCH[7:0]** až **PWMxDCL[7:6]** výstup nastaví na logickou 0, která zde zůstane až do konce periody.

Model PIC16F1509 má celkem 4 tyto PWM moduly.

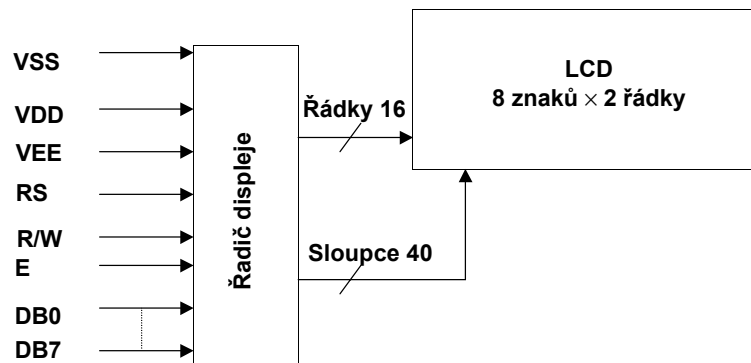


Obr. 4.5: Blokové schéma PWM modulu [Převzato z [4]]

4.2 LCD displej s řadičem

K zobrazování stavu regulace slouží LCD displej s řadičem, v našem případě se jedná o podsvícený dvouřádkový displej CM 0820-STN-LY. První řádka ukazuje stav PWM, řádka druhá pak informuje o hodnotě na výstupu DA převodníku, respektive o proudu LED diod. Data se do displeje posílají pomocí 8 datových pinů (**DB0** až **DB7**), které lze případně zredukovat na 4. Data se potvrzují pulsem na pin **E**. Pin **R/W** určuje zda se bude z displeje číst či na něj zapisovat a pin **RS** udává, zda do displeje posíláme

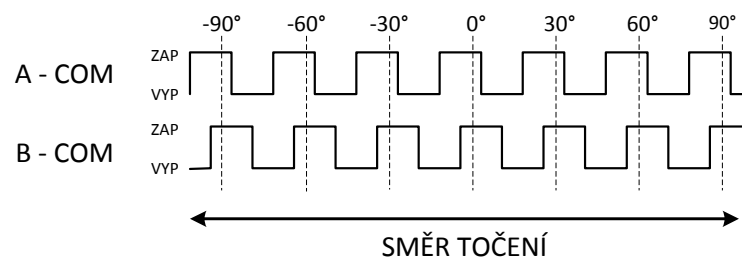
data či instrukce. Kontrast je úměrný napětí mezi piny V_{DD} a V_{EE} , to lze regulovat potenciometrem.



Obr. 4.6: Blokové schéma LCD displeje [Převzato z firemní literatury]

4.3 Inkrementální kolečko

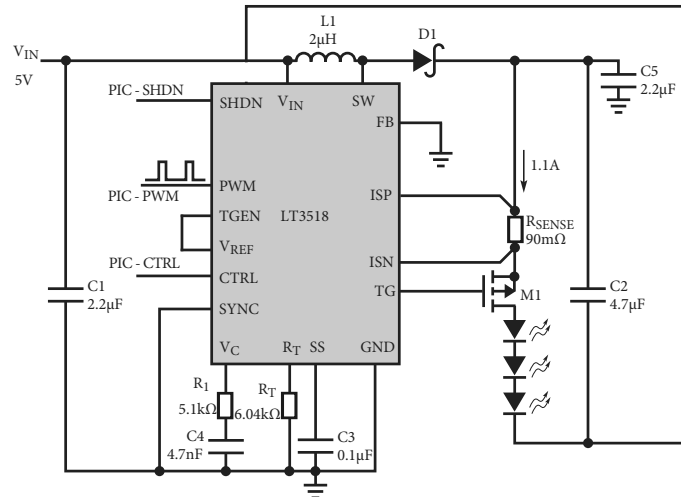
Pro ovládání slouží inkrementální kolečko se středovým tlačítkem. Princip kolečka spočívá ve spínání dvou kontaktů (**A** a **B**) se společným **COM**. Jeden z kontaktů spíná vždy dřív a podle toho lze rozpoznat na jakou stranu se kolečko točí. Průběh tohoto spínání je patrný z obrázku 4.7. Točením se nastavuje požadovaná hodnota, středovým tlačítkem se vybírá jedna z regulací, kterou chceme měnit, případně při delším stisknutí se zapnou nebo vypnou obvody měniče.



Obr. 4.7: Ukázka spínání inkrementálního kolečka

4.4 Topologie buck - boost

Zapojení měniče LT3518, které umí napětí zvyšovat i snižovat mi přišlo vhodné proto, že by bylo možné celý přípravek včetně řídicího mikrokontroléru napájet pěti volty. Navíc zdroje tohoto napětí jsou dobře dostupné.



Obr. 4.8: Schéma zapojení realizované topologie buck-boost [Převzato a upraveno z [3]]

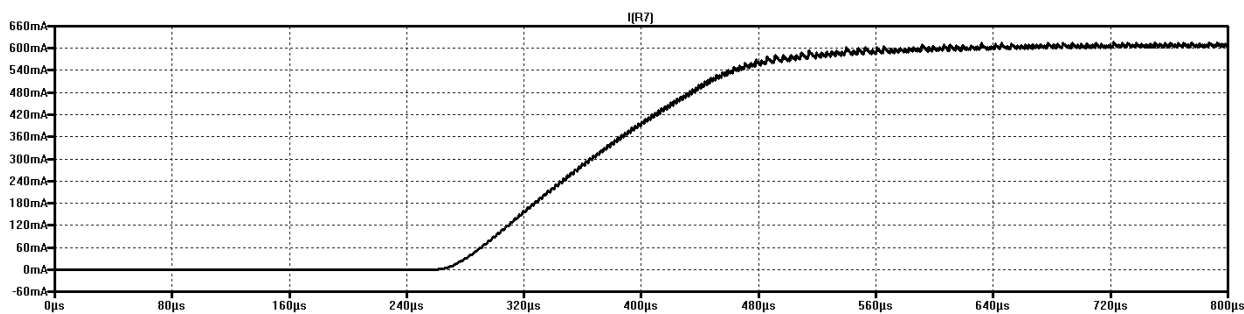
Obvody měniče

Na obrázku 4.8 je schéma zapojení, které jsem zde použil. Maximální proud LED diodami je nastaven odporem $90\text{ m}\Omega$ na hodnotu $1,1\text{ A}$ (rovnice 3.1). Tato hodnota se pak může měnit napětím menším než 1 V na pinu **CTRL** (rovnice 3.2), který je připojen na výstup DA převodníku. Spínací frekvence je nastavena odporem R_T na hodnotu 2 MHz . S mikrokontrolérem je pak spojen ještě pin **SHDN**, který spouští a vypíná celý měnič, a pin **PWM**.

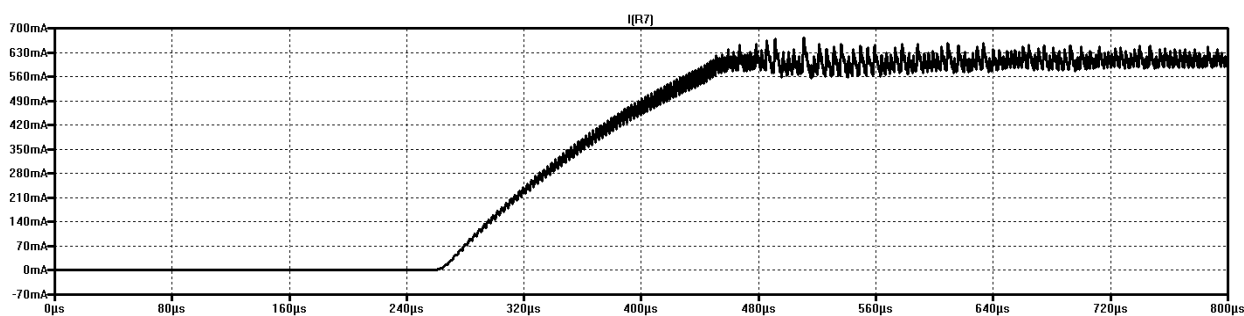
Oživování

Po sestavení přípravku bylo na řadě testování. Při připojení malé zátěže pracoval měnič podle předpokladů, ale u větších zátěží nebyl schopný dodat požadované napětí. Bohužel až v této fázi jsem zjistil, že měnič LT3518 je namodelován v programu LTspice, ve kterém si lze obvody s ním nasimulovat.

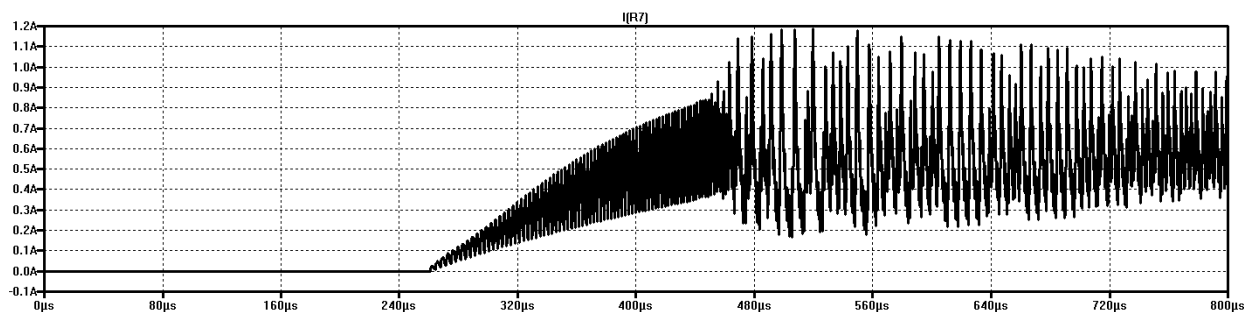
Při simulování realizovaného obvodu v programu LTspice jsem dosahoval stejných výsledků jako u mého přípravku. Za příčinou těchto výsledků mohl proud kapacitorem **C2** (na obrázku 4.8). Měnič obsahuje spínač, který umí spínat proud až do hodnoty $2,3\text{ A}$ (překročení této hodnoty si měnič sám hlídá). Tento proud si pak rozdělí zátěž a kondenzátor **C2**, kterým při větší zátěži protéká velká část tohoto proudu. Samozřejmě jsem ještě zkusil měnit velikost této kapacity, nicméně výsledné napětí bylo buď příliš malé nebo mělo nepěkný průběh. Tuto skutečnost zobrazují grafy na obrázcích 4.9, 4.10 a 4.11 z programu LTspice.



Obr. 4.9: Graf proudu zátěží o odporu $R=18 \Omega$ při paralelní kapacitě $C=4,7 \mu\text{F}$



Obr. 4.10: Graf proudu zátěží o odporu $R=18 \Omega$ při paralelní kapacitě $C=1 \mu\text{F}$



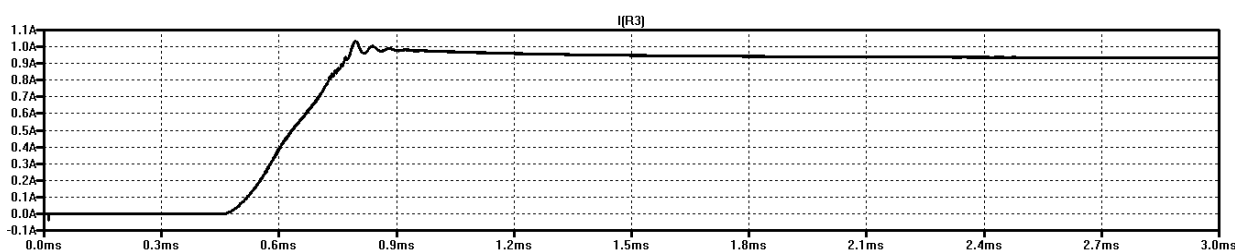
Obr. 4.11: Graf proudu zátěží o odporu $R=18 \Omega$ při paralelní kapacitě $C=0,1 \mu\text{F}$

Zhodnocení topologie buck - boost

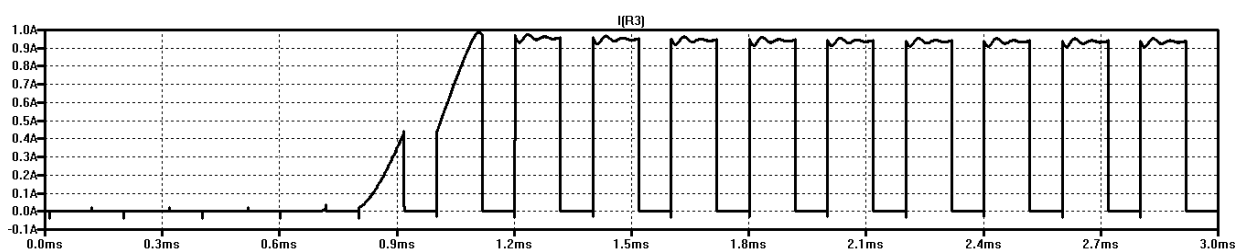
Zvolení měniče LT3518 v zapojení buck-boost napájeného 5 V se ukázalo v požadované aplikaci jako nevhodné díky proudovému omezení jeho interního spínače. Přípravek však i tak najde využití při testování jednotlivých LED diod.

4.5 Topologie buck

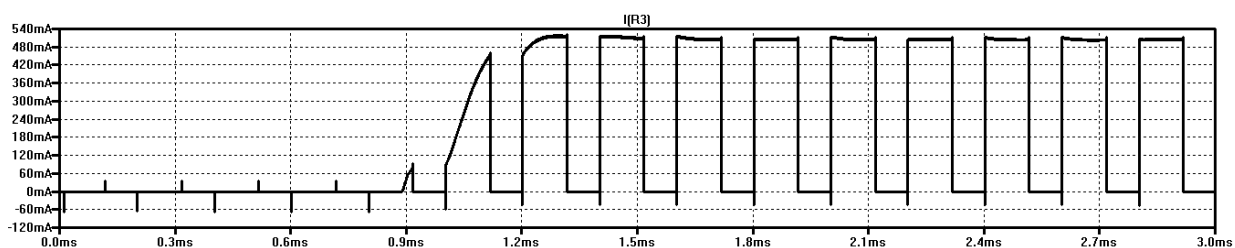
Po předchozím nezdaru jsem před samotným návrhem desky plošných spojů pro topologii buck provedl rozsáhlou simulaci v programu LTspice. Simulaci jsem prováděl na různých zátěžích při vstupním napětí 30 V, frekvenci 600 kHz a výstupním proudem nastaveném na hodnotu 1 A. Na obrázku 4.12 je vidět průběh proudu odporem o velikosti 28 Ω , obrázek 4.13 pak zobrazuje průběh proudu při stejné zátěži s použitím PWM regulace a na obrázku 4.14 je využita regulace PWM a hodnota proudu je nastavena pomocí pinu CTRL na hodnotu 0,5 A.



Obr. 4.12: Graf proudu zátěži o odporu $R=28 \Omega$



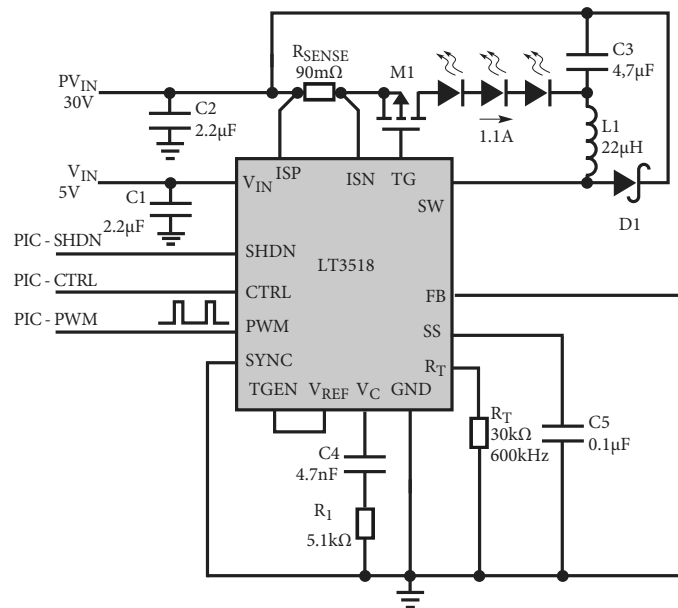
Obr. 4.13: Graf proudu zátěži o odporu $R=28 \Omega$ při využití PWM



Obr. 4.14: Graf proudu zátěži o odporu $R=28 \Omega$ při využití PWM i regulace proudu

Obvody měniče

Schéma zapojení měniče na druhém přípravku je na obrázku 4.15. Oproti předchozí verzi se kromě celkové topologie změnila i spínací frekvence na hodnotu 600 kHz a vstupní napětí se zvýšilo na 30 V. Maximální požadovaná hodnota proudu LED diodami je nastavena opět na hodnotu 1,1 A. Mikrokontrolér je připojen k pinům **PWM**, **SHDN** (zapínání a vypínání měniče) a **CTRL** (nastavení výstupního proudu).



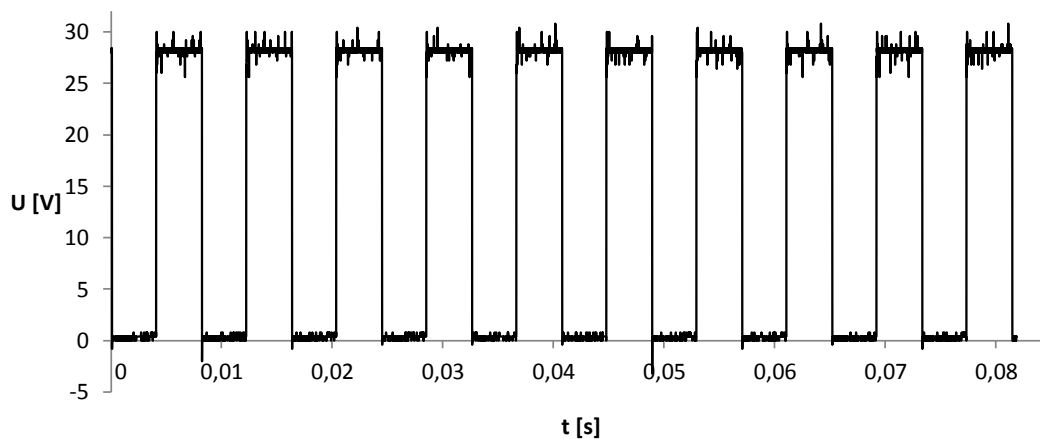
Obr. 4.15: Schéma zapojení realizované topologie buck [Převzato a upraveno z [3]]

Oživování

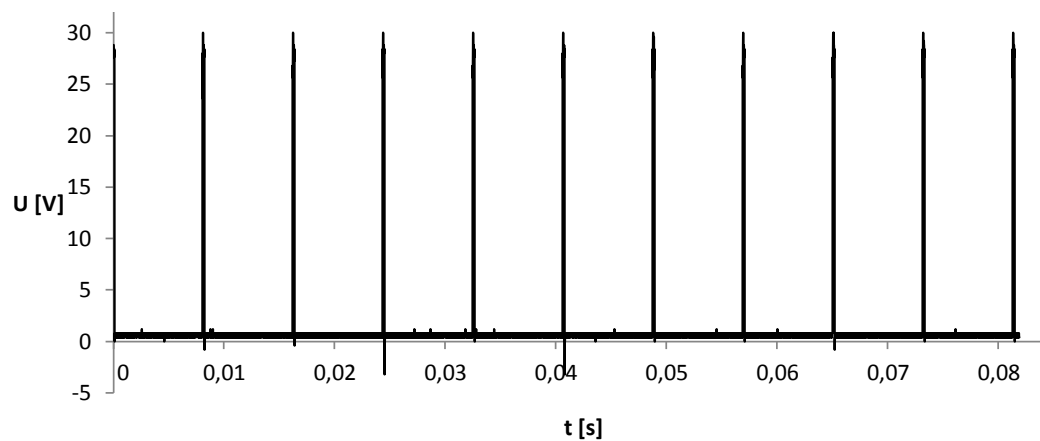
Po konstrukci modulu jsem jej testoval na odporu o velikosti 25Ω a na přípravku se 4 LED diodami. Výsledky naměřené na odporu byly velmi podobné těm nasimulovaným (grafy na obrázcích 4.16 a 4.17). Rozdíl byl patrný s připojeným přípravkem s LED diodami, kde při PWM regulaci hodnoty napětí neklesaly k nule, ale pouze se k ní exponenciálně přibližovaly, což je dáno tím, že LED dioda je kapacitní zátěž (obrázky 4.18 a 4.19).

Zhodnocení topologie buck

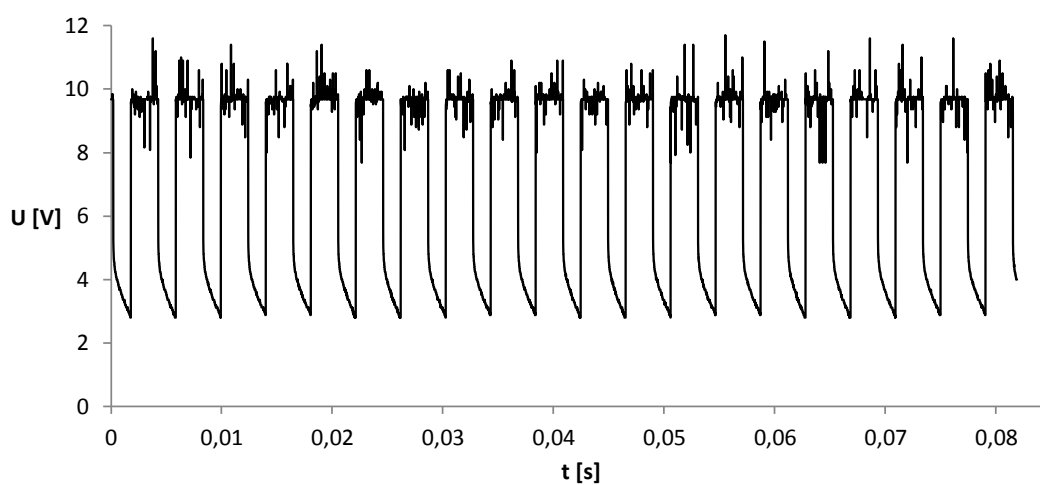
Použití měniče LT3518 v topologii buck funguje podle předpokladů a zhotovený přípravek bude moci být plně využit při testování i ovládání požadovaného počtu LED diod.



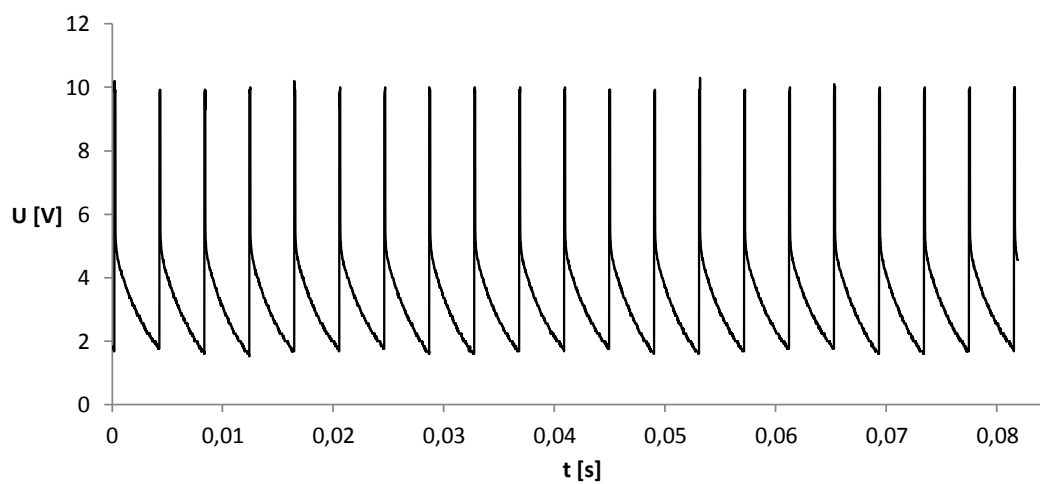
Obr. 4.16: Naměřený průběh napětí na odporu $R=25 \Omega$ se střídou 50 %



Obr. 4.17: Naměřený průběh napětí na odporu $R=25 \Omega$ se střídou 0,3 %



Obr. 4.18: Naměřený průběh napětí na přípravku se 4 LED diodami se střídou 50 %



Obr. 4.19: Naměřený průběh napětí na přípravku se 4 LED diodami se střídou 0,3 %

5

Navržené programové řešení

Program pro mikrokontrolér jsem psal v jazyce C v programu MPLAB IDE s kompilátorem HI-TECH Universal ToolSuite.

Na začátku běhu programu nastavuji vnitřní oscilátor na maximální frekvenci (16 MHz) a určuji, které piny budou vstupní a které výstupní. Dále zapínám PWM modul, prozatím na maximální střídu, a volám funkci, která zapne a ziniculuje LCD displej, vypíše na něj přednastavené hodnoty regulací (první řádka informuje o střídě PWM, na druhé řádce se zobrazuje předpokládaná hodnota proudu na výstupu) a nastaví kurzor na hodnotu střídy PWM. Dostáváme se do hlavní smyčky programu, kde se cyklicky kontroluje, zda se rovnají logické hodnoty na kontaktech inkrementálního kolečka **A** a **B** (viz. obrázek 4.7). Jsou-li tyto hodnoty rozdílné (ve stabilním stavu se rovnají), volá se funkce „kolečko“. Dále se v hlavní smyčce kontroluje, zda je zmáčknuto tlačítko uprostřed inkrementálního kolečka. Je-li tato podmínka splněna, je volána funkce „tlacitko“.

Funkce „kolečko“

Funkce „kolečko“ po zavolání zjistí, který z kontaktů **A** nebo **B** je aktivní a čeká než se jejich hodnoty opět rovnají. Následně přečte jejich stav a vyhodnotí na kterou stranu se kolečko pohnulo. Podle pozice kurzoru na displeji změní registr DA převodníku, případně registr střídy PWM a vypíše na displej novou hodnotu.

Funkce „tlacitko“

Funkce „tlacitko“ je volána v případě, že je zmáčknuto tlačítko uprostřed inkrementálního kolečka. Po zavolání se zapne softwarový čítač, který čítá než se tlačítko uvolní nebo než napočítá do hodnoty 200 000 (odpovídá cca třem vteřinám). Při dosažení této hodnoty mikrokontrolér zapne, případně vypne měnič a program zde funkci „kolečko“ opustí. Při uvolnění tlačítka před dosažením této hodnoty se přesune pozice kurzoru LCD displeje na hodnotu výstupního proudu, byl-li předtím na hodnotě střídy PWM, či opačně.

Obsluha displeje

Displej se dá řídit pomocí příkazů z tabulky 5.1 (význam jednotlivých bitů je v tabulce 5.2). Tyto příkazy se potvrzují pulzem na pin **E** (obrázek 4.6) o minimální šířce 220 ns. Při frekvenci vnitřních hodin 16 MHz je šířka pulzu 500 ns, takže není třeba vkládat čekací takty.

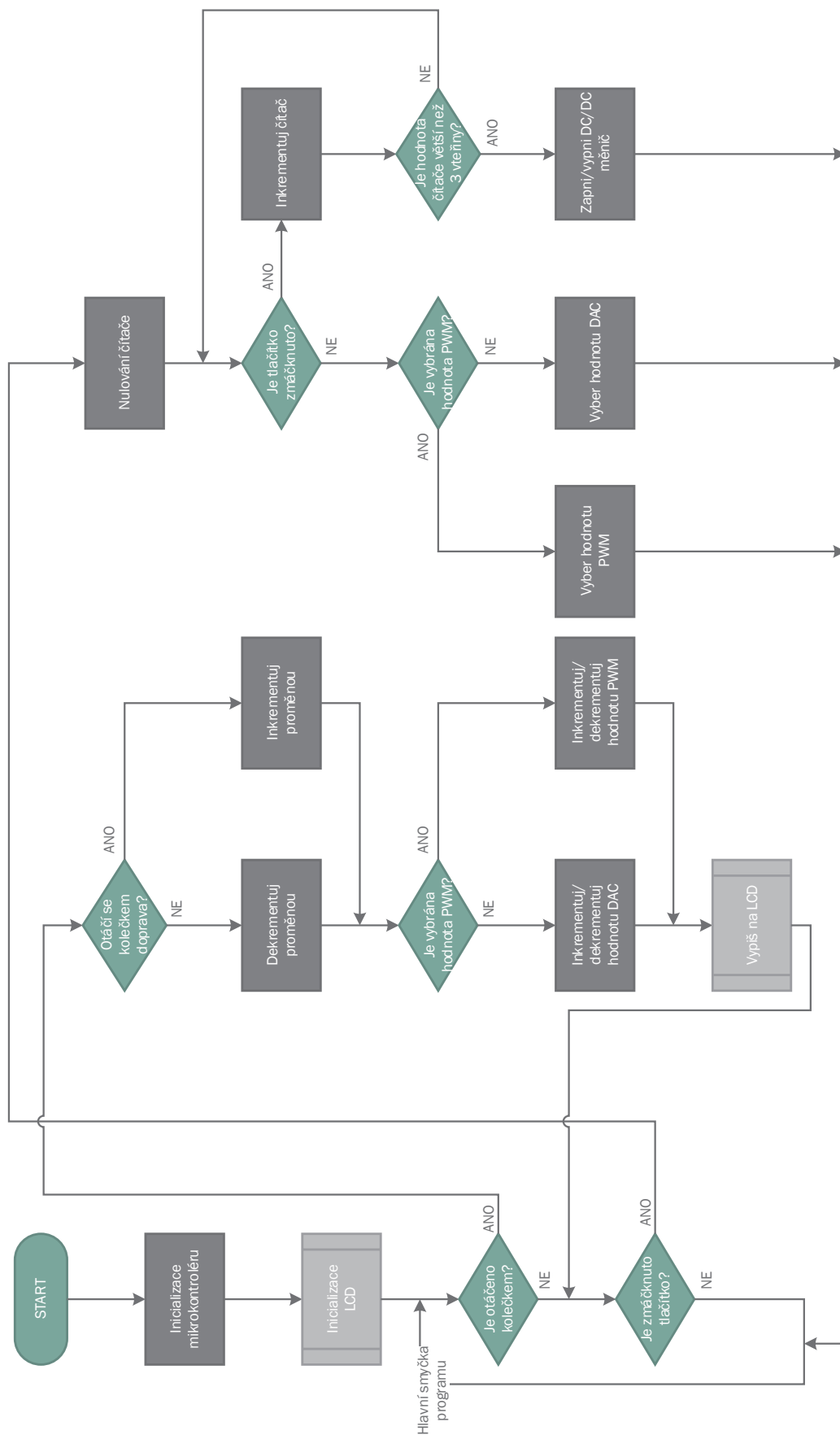
Příkaz	Kód										Popis	Délka vykonání příkazu
	RS	R/W	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RBO		
Smaže displej	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Smaže displej a nastaví kurzor na pozici 0	1,64ms
Nastaví kurzor na začátek	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	Nastaví kurzor na pozici 0 a vynuluje posun displeje	1,64ms
Nastaví vstupní režim	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Určí směr pohybu kurzoru (I/D) a posun displeje	40us
Zapne/vypne displej, kurzor a jeho blikání	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Zapíná/vypíná displej (D), kurzor (C) a jeho blikání (B)	40us
Nastaví pohyb kurzoru	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Nastaví pohyb kurzoru nebo displeje (S/C) a směr pohybu (R/L)	40us
Nastaví rozhraní	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Nastaví řídicí rozhraní (DL), počet řádků (N) a znakový font (F)	40us
Nastaví adresu CGRAM	0	0	0	1	Adresa CGRAM					Data ze vstupu jsou po tomto příkazu zaznamenávána do CGRAM		40us
Nastaví adresu DDRAM	0	0	1	Adresa DDRAM					Data ze vstupu jsou po tomto příkazu zaznamenávána do DDRAM		40us	
Čtení adresy / příznaku zaneprázdnění	0	1	BF	Adresa DDRAM					Čte příznak zaneprázdnění (BF) indikující, že displej ještě provádí některou operaci, a pozici ukazatele adresy.		0	
Zapíše data do DDRAM/CGRAM	1	0	Data					Zapíše data do DDRAM/CGRAM		40us		
Čte data z DDRAM/CGRAM	1	1	Data					Čte data z DDRAM/CGRAM		40us		

Tab. 5.1: Řídící příkazy displeje

U každé instrukce je uveden čas, který udává jak dlouho po instrukci musíme čekat než bude řadič displeje opět připraven. Další možností je opakovaně číst z řadiče příznakový bit **BF**, který signalizuje logickou 1, že je řadič zaneprázdněn.

Název bitu	Hodnota bitu	
	0	1
I/D	Pohyb kurzoru doleva	Pohyb kurzoru doprava
S	Displej se neposouvá	Displej se posouvá
D	Vypnutí displeje	Zapnutí displeje
C	Vypnutí kurzoru	Zapnutí kurzoru
B	Vypnutí blikání kurzoru	Zapnutí blikání kurzoru
S/C	Pohyb kurzoru	Pohyb displeje
R/L	Posun doleva	Posun doprava
DL	4-bitová komunikace	8-bitová komunikace
N	jednořádkový displej	dvouřádkový displej
F	znaky 5x7 bodů	znaky 5x10 bodů
BF	řadič je připraven	řadič je zaneprázdněn

Tab. 5.2: Význam jednotlivých bitů příkazů



Obr. 5.1: Vývojový diagram programu mikrokontroléru

6

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a zrealizovat řídicí jednotku pro variabilní počet (1 až 9) vysoce svítivých LED diod. Já jsem nejprve zrealizoval řídicí jednotku s DC/DC měničem LT3518 v topologii buck-boost. Tento přípravek měl být napájen pěti volty a měl umět napětí zvyšovat i snižovat. Bohužel díky proudovému omezení vnitřního spínače je toto zapojení vhodné pro jednu, maximálně dvě LED diody.

Mým dalším krokem pak byla snaha realizovat přípravek se stejným měničem, tentokrát však ve snižovacím provedení. Toto zapojení se ukázalo jako plně funkční s odporovou zátěží, při připojení LED diod se výstupní napětí při PWM regulaci nedostávalo k nulovému napětí, ale pouze se k němu exponenciálně blížilo. Zde by bylo asi ještě možné zkusit změnit velikost periody PWM tak, aby LED diody vizuálně neblikaly, ale přesto úbytek napětí na nich dosahoval nulové hodnoty.

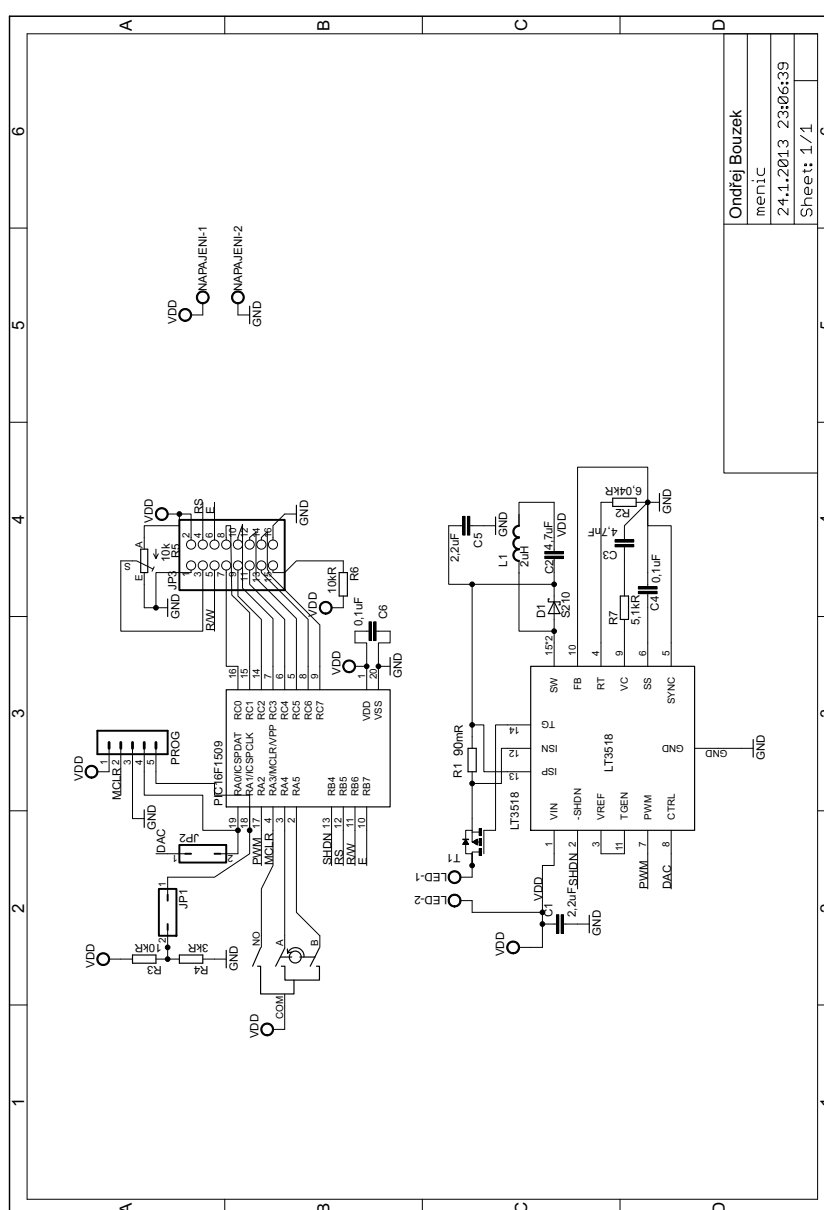
Celé zařízení by se dalo ještě vylepšit zobrazováním reálné hodnoty výstupního proudu. Ta by se dala získat připojením AD převodníku k odporu, který je v sérii se zátěží. Dále by mohla být na LCD displeji zobrazována teplota, ale ta se již na displej o rozměrech 2 x 8 znaků nevešla.

Literatura

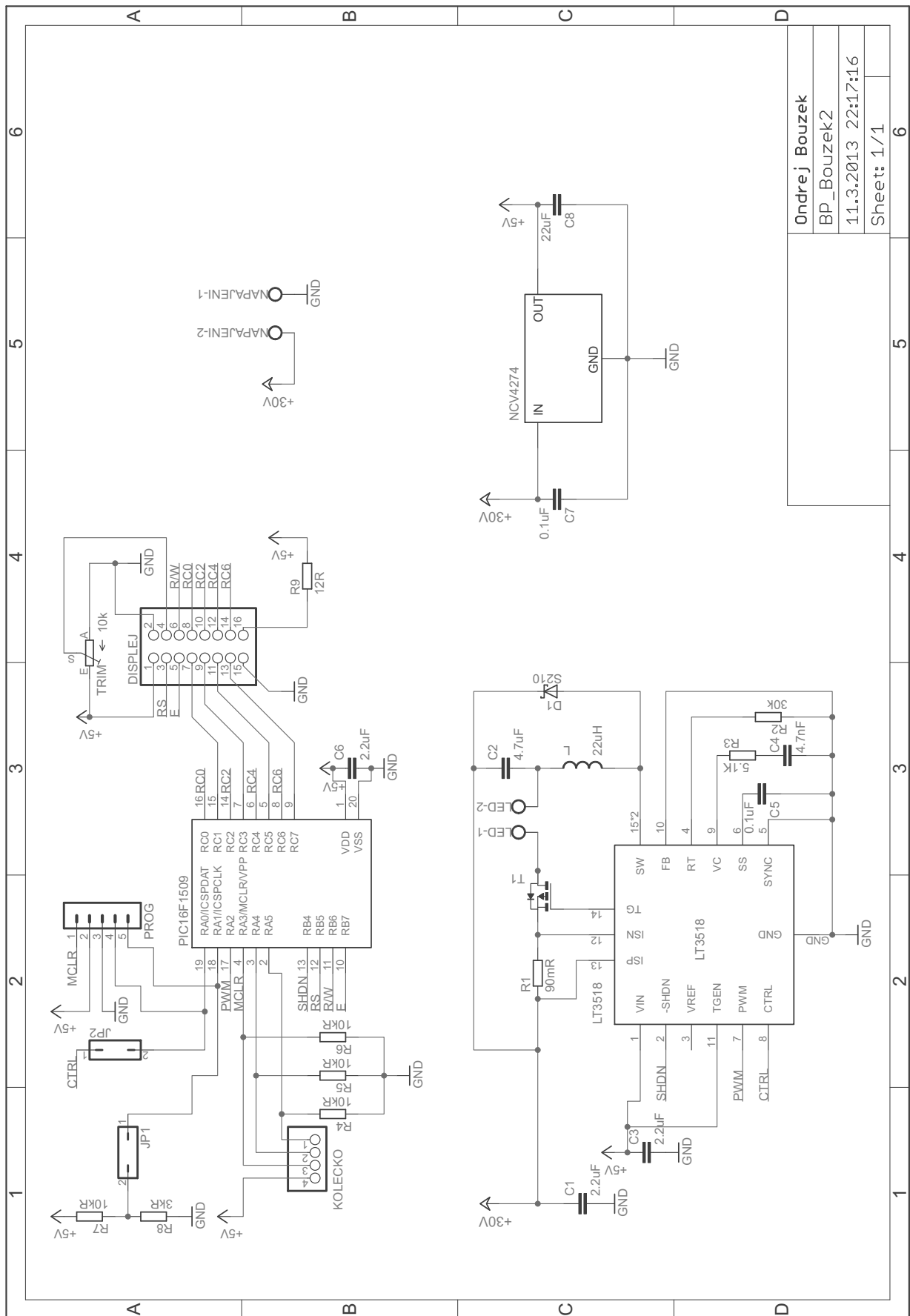
- [1] KREJČIŘÍK, Alexandr. *DC/DC měniče*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001. 111 s. Jak pracují. ISBN 80-7300-045-8.
- [2] ICE, Charlie. Inteligentní řízení LED osvětlení. *DPS Elektronika od A do Z*. 2012, č. 6, 61-61. ISSN 1805-5044.
- [3] *LT3518 - Katalogový list*. Milpitas (California): Linear Technology Corporation, 2007. 20s. Dostupné z WWW: <http://www.linear.com/>
- [4] *PIC16F1509 - Katalogový list*. Chandler (Arizona): Microchip Technology Inc., 2011. 384s. Dostupné z WWW: <http://www.microchip.com/>
- [5] MATOUŠEK, David. *C pro mikrokontroléry PIC*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2011. 367 s. ISBN 978-80-7300-413-2.

Příloha A

Schémata zapojení



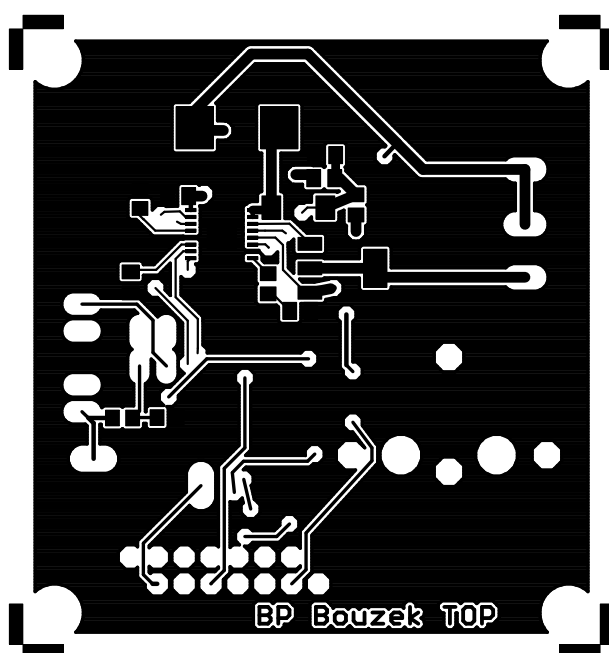
Obr. A.1: Schéma zapojení navržené topologie buck-boost



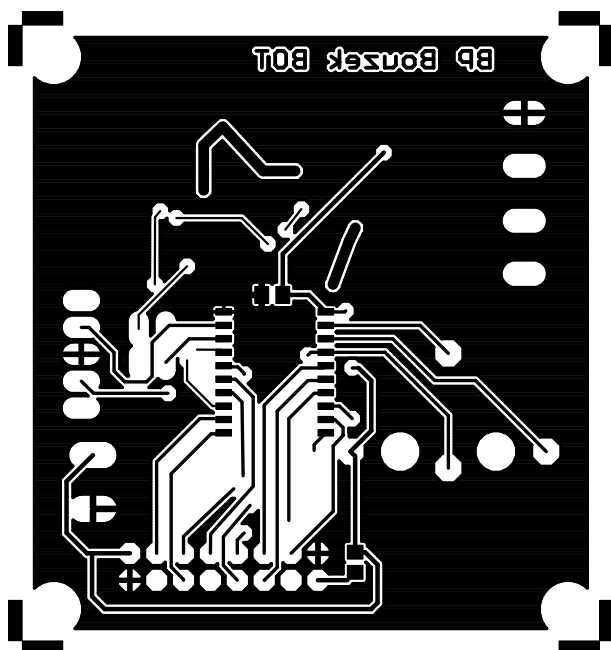
Obr. A.2: Schéma zapojení navržené topologie buck

Příloha B

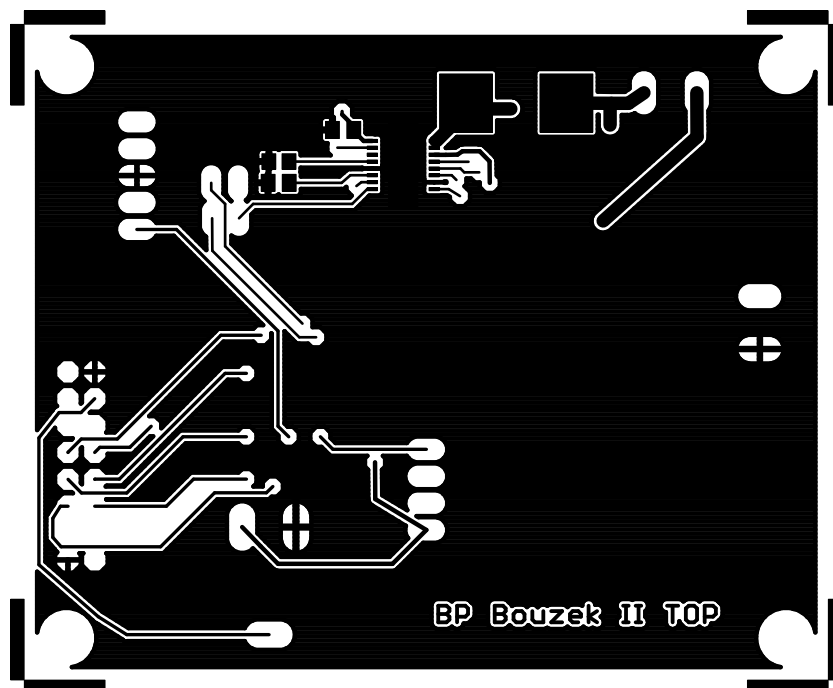
Desky plošných spojů, výkresy



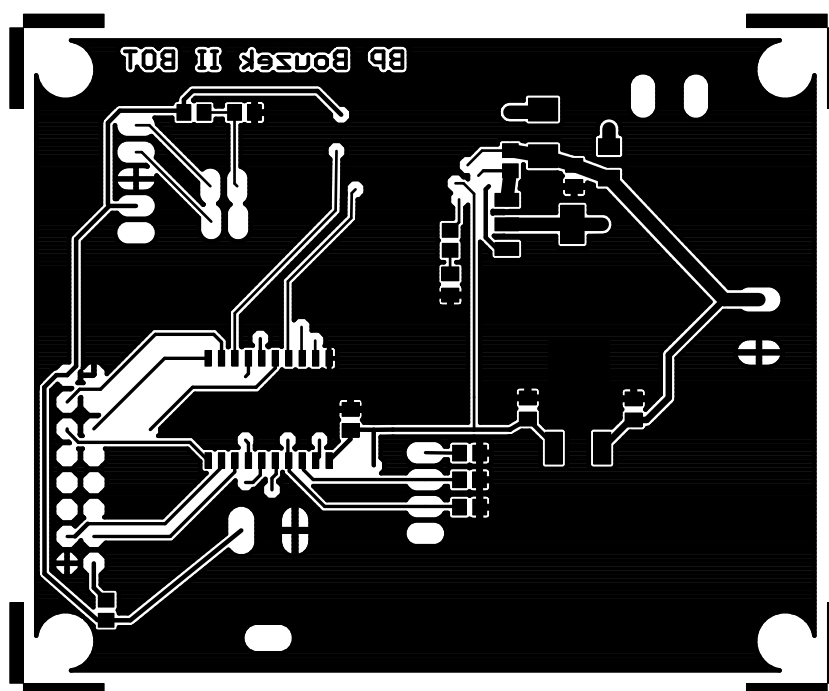
Obr. B.1: Navržená DPS - topologie buck-boost - horní strana



Obr. B.2: Navržená DPS - topologie buck-boost - spodní strana



Obr. B.3: Navržená DPS - topologie buck - horní strana



Obr. B.4: Navržená DPS - topologie buck - spodní strana

Příloha C

Zdrojový kód programu mikrokontroléru

```
1 #include <pic.h>;
2 #include <htc.h>
3 #include<stdio.h>
4
5 #define EN LATB7
6 #define RS LATB5
7 #define RW LATB6
8 #define LCD LATC
9 #define SHDN LATB4
10
11 char radka=1, smer;
12 char PWM=100,DAC=11;
13 char DAC_reg[12]={0,3,5,8,10,13,15,18,20,23,26,29};
14
15 void wait(unsigned int t)
16 {
17     for (unsigned int i=0; i<=t;i++) NOP();
18 };
19
20 void LCD_busy(void)          //kontroluje, zda je displej zaneprázdněn
21 {
22     TRISC7=1;
23     RS=0;
24     RW=1;
25     EN=1;
26     while(RC7)
27     {
28         EN=0;
29         EN=1;
30     }
31     EN=0;
32     RW=0;
33     TRISC7=0;
34 }
35
36 void EN_pulz()
37 {
38     LCD_busy();
39     EN=1;
40     EN=0;
41 };
42
43 void LCD_adr(char kam)
44 {
45     RS=0;
46     LCD=kam|0x80;          //na MSB musí být 1
47     EN_pulz();
48 };
49
```

```

50 void LCD_zapis(char co)
51 {
52     RS=1;
53     LCD=co;
54     EN_pulz();
55 };
56
57 void nahod_LCD()
58 {
59     char *znak, *text1 = "PWM 100%", *text2 = "I 1.1A";
60     RS=0;
61     LCD_busy(); //než se display zapne
62     LCD=0b00000001; //smaže LCD, kurzor nastaví na začátek
63     EN_pulz();
64     LCD=0b00111000; //inicializace - 2řádky, 8bit, font5x8
65     EN_pulz();
66     LCD=0b00001110; //zapnutí LCD,kurzoru, (ne)blikání kurzoru
67     EN_pulz();
68     LCD=0b00000110; //posuv kurzoru doprava
69     EN_pulz();
70
71     for(znak = text1; *znak; znak++)
72         LCD_zapis(*znak);
73
74     LCD_adr(0x40);
75     for(znak = text2; *znak; znak++)
76         LCD_zapis(*znak);
77
78     LCD_adr(0x05);
79
80 };
81 void PWM_zmena (void)
82 {
83     PWM+=10*smer;
84     if ((PWM < 0) || (PWM >100))
85     {
86         PWM-=10*smer;
87         return;
88     };
89     if(PWM==0)
90     {
91         PWM3OE=0;
92         RA2=0;
93     }
94     else PWM3OE=1;
95     PWM3DCH+=smer*0b00011001;
96     PWM3DCL+=smer*0b10000000;
97     LCD_adr(0x04);
98     LCD_zapis(PWM/100+48);
99     LCD_zapis((PWM%100)/10+48);
100    LCD_adr(0x05);
101 };
102
103 void DAC_zmena (void)
104 {
105     DAC+=1*smer;
106     if (DAC < 0 || DAC >11)
107     {
108         DAC-=1*smer;
109         return;
110     }
111     DACCON1=DAC_reg[DAC];
112     LCD_adr(0x44);
113     LCD_zapis(DAC/10+48);
114     LCD_zapis(' ');
115     LCD_zapis(DAC%10+48);
116     LCD_adr(0x46);
117 };
118
119 void tlacitko(void)
120 {
121     long int citac=0;
122     while(RA3)

```

```

123     {
124         citac++;
125         if(citac>200000)
126         {
127             if (SHDN)
128             {
129                 SHDN=0;
130                 LCD_adr(0x42);
131                 LCD_zapis(' ');
132                 return;
133             }
134             else
135             {
136                 SHDN=1;
137                 LCD_adr(0x42);
138                 LCD_zapis(0b10100101);
139                 return;
140             }
141         };
142     };
143     if(radka==1)
144     {
145         radka=2;
146         LCD_adr(0x46);
147     }
148     else
149     {
150         radka=1;
151         LCD_adr(0x05);
152     };
153     wait(50000);
154 }
155
156 void kolecko(char stav)
157 {
158     while(RA4!=RA5)         if(RA3) tlacitko();
159     if(stav==RA4) smer=-1;
160     else smer=1;
161     if(radka==1) PWM_zmena();
162     else DAC_zmena();
163
164
165 };
166
167 void nahod_PWM(void)
168 {
169     PWM3CON=0;                //vypnutí PWM
170     PR2=0xFF;
171     PWM3DCH=0xff;            //střída 100%
172     PWM3DCL=0xff;
173     TMR2IF=0;                //int flag
174     T2CON=0b01111111;        //zapnutí timeru 2
175     TRISA&=~0b00000100;      //nastavení pinu RA2 jako výstup
176     PWM3CON=0b11000000;      //zapnutí PWM
177
178
179 };
180
181 void main()
182 {
183     OSCCON=0b11111111;        //oscilator 16MHz
184     TRISA=0b00111010;        //nastavení vstupu a výstupu
185     TRISB=0x00;
186     TRISC=0x00;
187     ANSELA=0x00;             //všechny vstupy digitální
188     ANSELB=0x00;
189     SHDN=0;                  //vypnutí měniče
190     nahod_PWM();
191     nahod_LCD();
192
193     DACCON0=0b10100100;      //zapnutí ADC
194     DACCON1=0b00011110;      //hodnota ADC - max
195     while(1)

```

```
196         {
197         if(RA5 && !RA4) kolecko(1);
198         if(!RA5 && RA4) kolecko(0);
199         if(RA3) tlacitko();
200         };
201     };
```