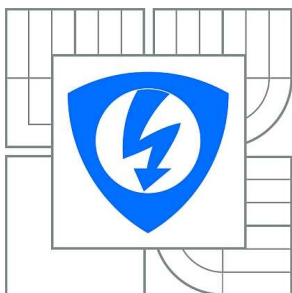


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ŘÍZENÍ VÝKONOVÉ LED POMOCÍ ATTINY

CONTROL OF POWER LED, USING ATTINY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

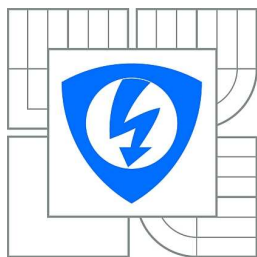
MICHAL SEDLÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÁCLAV ZEMAN, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Michal Sedláček

ID: 106762

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Řízení výkonové LED pomocí ATtiny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte DC měnič napětí z 7.4V (2x LiON články v sérii) pro napájení výkonové LED pomocí step-down spínaného měniče osazeným mikrokontrolérem ATtiny. Vytvořte program pro tuto aplikaci. Účinnost měniče a výkonové poměry v zapojení ověřte měřením. Při návrhu je kritickou veličinou velikost měniče a vlastní spotřeba - účinnost. Projekt je řešte ve spolupráci s pracovníky firmy Honeywell.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Matoušek, D. : Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16, BEN, 2006
- [2] Krejčířík, A. : Napájecí zdroje 1. díl, BEN, 2002. ISBN 80-86056-02-3

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 2.6.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
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

Bakalářská práce se zabývá návrhem DC/DC snižujícího měniče, určeného pro napájení výkonové LED diody z Lithium-Ionových akumulátorů. Práce na úvod čtenáře seznamuje s funkcemi a požadavky kladenými na navrhované zařízení. Snižující měnič je řízen pomocí vhodně vybraného mikrokontroléru z řady ATtiny. V práci jsou postupně rozebrána dílčí obvodová řešení, ze kterých je poté sestaven kompletní obvod. Detailně je rozebrán návrh silového obvodu snižujícího měniče. Práce dále obsahuje návrh programu pro mikrokontrolér a návrh plošného spoje pro výsledné obvodové řešení. Na závěr bakalářské práce je provedeno měření na prakticky realizovaném vzorku navrhovaného zařízení.

Klíčová slova: Snižující měnič, DC/DC měnič, výkonová LED, napájení Li-Ion, ATtiny, pulsní šířková modulace, vysoká účinnost

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with designing DC/DC steep-down converter, intended to supply power LED from a lithium-ion batteries. Work on the preface introduces the reader to the functions and the requirements for the proposed facility. Steep-down converter is controlled by a microcontroller suitably selected from ATtiny family. In this work are gradually dismantled partial circuit solutions, from which is then compiled a complete circuit. Is analyzed in detail the proposal steep-down power circuit converter. Work also includes the program for microcontroller and PCB design for the final circuit solution. In conclusion, this work is carried out measurements on the sample the proposed facility.

Keywords: Steep-down converter, buck converter, DC/DC converter, power LED, Li-Ion power, ATtiny, pulse width modulation, high efficiency

SEDLÁČEK, M. *Řízení výkonové LED pomocí ATtiny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Řízení výkonové LED pomocí ATtiny“ 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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Václavu Zemanovi, ph.D. a konzultantovi Ing. Ondřeji Pavelkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	7
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Úvod	10
1 Popis obvodu a jeho základní funkce	11
1.1 Základní funkce obvodu	13
1.2 Volba mikrokontroléru a vývojového prostředí.....	14
1.3 Základní informace o Lithium-Iontových akumulátorech.....	15
1.3.1 Výběr vhodného nabíjecího obvodu	16
1.4 Úvod do problematiky DC/DC měničů	17
2 Návrh silového obvodu měniče	18
2.1 Rozbor prakticky realizovaného snižujícího měniče	19
2.2 Základní vztahy.....	21
2.3 Praktický návrh a výpočet silového obvodu měniče	22
3 Návrh řídicího obvodu měniče	26
3.1 Napájecí obvod mikrokontroléru	26
3.2 Ovládací obvod mikrokontroléru.....	27
3.3 Měření proudu protékajícího výkonovou led diodou	29
3.3.1 Úprava obvodu pro použití led diody s nižším výkonem	31
3.4 Řízení silového obvodu měniče.....	32
4 Realizace zkušební vzorku	34
4.1 Program mikrokontroléru	34
4.2 Kompletní obvodové schéma a návrh plošného spoje.....	37
5 Měření účinnosti	40
6 Závěr	42
Literatura	43
Seznam symbolů, veličin a zkratk	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Bloková struktura zařízení.	11
Obr. 1.2:	Schéma zapojení nabíjecího obvodu.....	14
Obr. 1.3:	Blokové zařazení DC/DC měniče do obvodu.....	15
Obr. 2.1:	Snižující měnič s jediným akumulacním prvkem.....	16
Obr. 2.2:	Praktické zapojení snižujícího DC/DC měniče.....	17
Obr. 2.3:	Vysvětlení činnosti snižujícího DC/DC měniče - výchozí stav.....	17
Obr. 2.4:	Vysvětlení činnosti snižujícího DC/DC měniče - fáze 1	17
Obr. 2.5:	Vysvětlení činnosti snižujícího DC/DC měniče - fáze 2	18
Obr. 2.6:	Časové průběhy napětí a proudu v obvodu během spínání.....	18
Obr. 2.7:	Úbytky napětí na spínacích prvcích.....	19
Obr. 2.8:	Znázornění napěťových úbytků a protékajících proudů součástkami	21
Obr. 3.1:	Ukázkové obvodové schéma stabilizátoru se Zenerovou diodou	26
Obr. 3.2:	Schéma napájecího a ovládacího obvodu mikrokontroléru	28
Obr. 3.3:	Zařazení operačního zesilovače do obvodu měniče.....	30
Obr. 3.4:	Zapojení budiče výkonového tranzistoru.....	32
Obr. 3.5:	Komplementární emitorový sledovač jako budič	33
Obr. 4.1:	Vývojový diagram programu mikrokontroléru.....	34
Obr. 4.2:	Princip generování pulsně šířkově modulovaného signálu.....	36
Obr. 4.3:	Kompletní obvodové schéma.....	37
Obr. 4.4:	Návrh desky plošného spoje – zvětšený	38
Obr. 4.5:	Návrh desky plošného spoje – měřítko 1:1	38
Obr. 4.6:	Osazený zkušební vzorek zařízení – horní pohled.....	39
Obr. 4.7:	Osazený zkušební vzorek zařízení – spodní pohled	39
Obr. 5.1:	Účinnosti zkušební vzorku pro led diodu SEOUL W11191.....	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1:	Ukázka zvolených rezistorů zesílení OZ pro různé typy led.	31
Tab. 5.1:	Naměřené hodnoty při použití led SEOUL W11191 – zkrácená tabulka....	40
Tab. A.1:	Soupiska součástí pro sestavení zkušební vzorku.....	45
Tab. A.2:	Naměřené hodnoty při použití led SEOUL W11191 – kompletní tabulka..	45

ÚVOD

Úkolem bakalářské práce je příprava podkladů pro realizaci a vlastní realizace snižujícího DC/DC měniče pro světelné zařízení, osazené výkonovou luminiscenční diodou. Činnost měniče bude řízena pomocí mikroprocesoru výrobce Atmel, který bude zvolen z řady ATtiny. Cílem je dosáhnout vysoké účinnosti a co nejmenších rozměrů navrhovaného zařízení.

Uvažovanou zátěží je luminiscenční dioda, která bude z měniče odebírat proud do maximální velikosti 1 A.

Pro napájení měniče bude použito dvou Lithium-Iontových akumulátorů zapojených do série. Dále se budu zabývat výběrem vhodného nabíjecího obvodu pro tento typ akumulátorů. Zařízení bude ovládáno stiskem tlačítka, bude možné volit mezi několika stupni intenzity svitu luminiscenční diody.

V první kapitole této práce představím požadované funkce obvodu. Provedu volbu mikrokontroléru a budu se zde věnovat problematice spojené s Lithium-Iontovými akumulátory a jejich nabíjením. Dále zde rozeberu úvod do problematiky DC/DC měničů.

Druhou kapitolu zaměřím na praktický návrh silového obvodu měniče na základě zvoleného mikrokontroléru. Provedu zde dimenzování a volbu výkonových součástek.

Ve třetí kapitole postupně provedu rozbor napájecího a ovládacího obvodu mikrokontroléru. Dále se zde budu věnovat měření proudu procházejícího přes výkonovou led diodu pomocí napěťového úbytku na měřícím rezistoru. Provedu zde potřebné výpočty pro volbu součástek a jejich výběr.

Ve čtvrté kapitole předvedu výsledné obvodové řešení a řešení plošného spoje, včetně fotografií sestaveného zařízení.

Pátá kapitola se zabývá závěrečným měřením účinnosti sestaveného vzorku měniče.

1 POPIS OBVODU A JEHO ZÁKLADNÍ FUNKCE

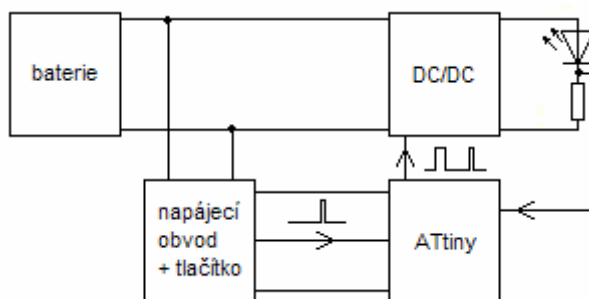
Navrhovaný obvod se bude skládat ze zdrojové části, představovanou dvěma Lithium-Iontovými akumulátory, ovládacího a stabilizačního obvodu který bude stabilizovat napětí na vhodnou úroveň a bude detekovat stisknutí tlačítka. Mikropočítač společně s další elektronikou se bude starat o řízení chodu měniče, ke kterému bude připojena výkonová led dioda. Klíčovým parametrem pro návrh silového obvodu měniče je kmitočet, na kterém bude měnič pracovat. Tento kmitočet se bude odvíjet od možností zvoleného mikrokontroléru ATtiny.

Proud procházející led diodou bude udržován řídicí elektronikou na konstantní hodnotě. Jeho velikost bude měřena z napěťového úbytku na pomocném měřicím rezistoru, který bude zapojen k led diodě do série.

1.1 Základní funkce obvodu

Stisknutí ovládacího tlačítka vyvolá sepnutí spínače, který připojí akumulátory k napěťovému stabilizačnímu obvodu. Z tohoto obvodu bude napájen mikrokontrolér a další měřicí elektronika. Mikrokontrolér v první části programu provede „přidržení“ spínače napájení a tím si zajistí setrvání v chodu. Dojde k výchozímu nastavení parametrů řízení měniče a nastavení střídy pulsně šířkově modulovaného signálu na hodnotu pro nejnižší svit led diody. Mikrokontrolér bude průběžně sledovat stav napětí na měřicím rezistoru a v závislosti na jeho velikosti bude upravovat velikost střídy řídicího signálu.

S každým dalším stiskem ovládacího tlačítka bude vyslán na zvolený vstup mikrokontroléru impuls. Podle počtu došlých impulsů bude mikrokontrolér přecházet mezi stavy – zapnuto / volba intenzity svitu led diody / vypnuto. Zařízení ponechané ve vypnutém stavu v pohotovostním režimu nebude spotřebovávat energii z akumulátorů.



Obr. 1.1: Bloková struktura zařízení

1.2 Volba mikrokontroléru a vývojového prostředí

Na základě zadání budu volit mikropočítač z řady ATtiny firmy Atmel. Obecně se jedná o osmi bitové mikropočítače pracující s rozšířenou instrukční sadou na architektuře AVR s optimálním poměrem rychlosti oproti spotřebovávané energii. Předpokladem pro můj výběr bude podpora AČ převodníku a generátoru pulsně šířkově modulovaného signálu.

Popis vývojového prostředí programu pro mikropočítač

Program pro mikropočítač budu psát v programovacím jazyku C v prostředí vyvíjeném firmou Atmel AVR Studio verze 4. Jedná se o profesionální vývojové prostředí ve kterém je možné psát programy jak v assembleru tak i jazyku C. K tomuto prostředí budou dále použity knihovny AVR GCC pro zjednodušení zápisu kódu. AVR Studio slouží dále ke kompilaci výsledného kódu pro zvolený mikropočítač. Program bude nahrán do mikrokontroléru pomocí rozhraní ISP (In System Programming). Navrhované zařízení bude tímto rozhraním vybaveno, použiji standardu ISP 6. Pro naprogramování programu do mikrokontroleru použiji volně dostupný počítačový program PonyProg.

Volba mikrokontroléru

Z hlediska realizace budu budit spínače tvořené unipolárními tranzistory typu pmos mikrokontrolérem pomocí bipolárních tranzistorů. Zařízení bude buď v zapnutém stavu tzn. řídicí obvod měniče bude stále generovat pwm signál nebo ve vypnutém stavu. Z tohoto důvodu nevyužiji snížené spotřeby mikrokontroléru v režimu spánku.

Jako vhodný mikrokontrolér jsem zvolil ATtiny25. Jádro mikrokontroléru obsahuje 32 registrů které jsou přímo napojeny na aritmeticko logickou jednotku - díky tomu je možné během vykonávání jedné instrukce přistupovat do dvou nezávislých registrů současně, velikost paměti programu je 2 KB.

Mikropočítač mimo jiné obsahuje dva čítače / časovače s možností generování průběhu pwm a čtyři multiplexně přepínatelné vstupy pro desetibitový AČ převodník. Pracovní napětí je 2,7 V až 5,5 V pro rychlost do 10 Mhz, pro vyšší rychlost do 20 Mhz je potřeba napájecí napětí 4,5 V až 5,5 V. Mikropočítač dále obsahuje integrovaný oscilátor udávající jeho takt bez využití externě zapojeného krystalu na 8 Mhz. Pracovní kmitočet je možné dále snížit děličkou přepnutím tzv. pojistky při nahrávání programu z 8 Mhz na 1 Mhz.

Zvolený mikrokontrolér je možné zakoupit v maloobchodní síti pod označením ATtiny25V10PU – pouzdro DIP8 nebo varianta ATtiny2520SU – pouzdro SOIC8. Zřízení budu navrhovat tak, aby mělo co nejmenší rozměry – budu volit variantu pouzdra SOIC8 pro povrchovou montáž.

Pro generování hodinového signálu použiji interní oscilátor bez dalšího dělení, mikropočítač tak bude pracovat na kmitočtu 8 Mhz.

Generování řídicího signálu pro spínání měniče

Blok pwm může pracovat v několika režimech generování signálu - Normal Mode, Clear Timer on Compare Match (tzv. CTC), Fast PWM mode a Phase Correct PWM mode.

Z hlediska ovládání DC/DC měniče potřebuji signál s proměnnou střídou a konstantním kmitočtem, který by měl být pokud možno co nejvyšší – aby byla použita co nejnižší indukčnost cívky v silovém obvodu měniče. Tomuto hledisku nejvíce vyhovuje režim generování Fast PWM mode. Výrobce v tomto režimu v katalogovém listu udává vztah [6], podle kterého je možné stanovit výstupní frekvenci pulsní šířkové modulace jako

$$f_{PWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \cdot 256}, \quad (1.1)$$

kde $f_{clk_I/O}$ je rychlost oscilátoru v Hz a N je hodnota děličky (1, 8, 64, 256 nebo 1024) kterou je možné použít k dalšímu snížení frekvence. Protože požadují maximální frekvenci děličku nepoužiji, výsledná frekvence pwm tedy bude

$$f_{PWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \cdot 256} = \frac{8 \cdot 10^6}{1 \cdot 256} = 31250 \text{ Hz}. \quad (1.2)$$

Na tuto frekvenci bude navrhnout silový obvod DC/DC měniče. Ačkoliv mikrokontrolér bude s vybíječícími se bateriemi neustále upravovat velikosti střídy tak, aby na výstupu měniče tekla konstantní proud, je vhodné znát velikosti stříd pro plně nabitě a vybité baterie – parametry budou známy po výpočtu silového obvodu měniče.

1.3 Základní informace o Lithium-Iontových akumulátorech

Lithium-Iontové akumulátory, zkráceně Li-Ion, se hodí k použití v přenosných zařízeních z důvodu vysoké tzv. objemové kapacity cca 200 Wh/dm³ a tzv. hmotnostní kapacity cca 60 Wh/kg, která je ve srovnání s akumulátory NiCd a NiMH nejvyšší. Akumulátory se tak dají vyrobit lehčí nebo ve stejném objemu akumulátoru budě vyšší kapacita. Li-Ion akumulátory mají v dalším srovnání s NiCd a NiMH akumulátory nejmenší samovybití, které je při 20°C přibližně 0,4% kapacity denně. Počet nabíjecích cyklů je přibližně 1200. Akumulátor nemá paměťový efekt a není ho potřeba před prvním použitím několikrát nabíjet a vybíjet.

Nevýhodami akumulátorů je, že se stárnutím klesá jejich kapacita nehledě na to zda byly používány. Napětí akumulátoru nesmí klesnout pod hodnotu 2,7 V, protože by klesala doba životnosti. Akumulátory musí být tedy dovybaveny obvodem, který je při „podbití“ odpojí od zátěže. Při dlouhodobějším a hlubším poklesu napětí nebude možné akumulátory opětovně nabít vůbec a dojde tak k jejich zničení. Nevhodným nabíjením je možné akumulátory nevratně poškodit a v krajním případě způsobit jejich explozi. Jmenovité napětí jednoho akumulátoru je 3,6 V, maximální nabíjecí napětí je dle typu anody akumulátoru 4,1 V až 4,2 V. Informace o akumulátorech a jejich vzájemné porovnání jsem provedl pomocí [1], [2].

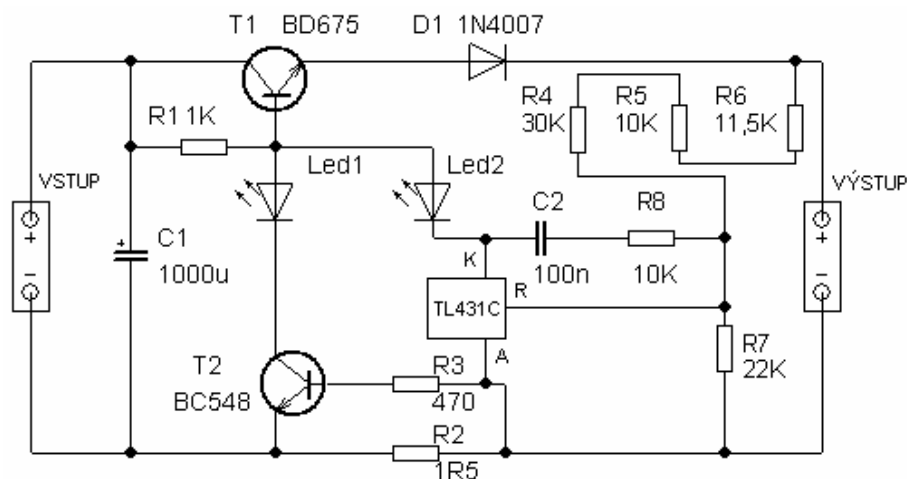
Na základě poznatků o akumulátorech budu volit konstrukční rozmezí napájecího napětí měniče 8,5 V až 5,5 V. Napětí pro plně vybité akumulátory by mohlo být teoreticky ještě sníženo na 5,4 V, ale chci ponechat rezervu z důvodu zamezení hlubšího vybití akumulátorů.

Vycházím z varianty, že zdrojem napětí nebudou fyzicky pouze 2 baterie spojené do série, ale baterie budou v tzv. aku-paku. V aku-paku bude obsažen obvod, starající se o kontrolu článků během procesu nabíjení a vybíjení. Obvod bude mít funkci ochrany proti přebíjení, ochrany proti vybíjení zkratovým proudem, funkci přepouštění proudů mezi články při nabíjení tzv. balancer a funkci odpojení baterií od zátěže, pokud poklesne jejich napětí pod výrobcem stanovenou mez.

1.3.1 Výběr vhodného nabíjecího obvodu

Akumulátory Li-Ion se nabíjejí omezeným proudem u kterého je podmínka že nesmí překročit maximální dovolený proud stanovený jako $0,5$ až $2 \times$ kapacita článku. Je potřeba dodržet přesně konečné nabíjecí napětí akumulátorů, které se liší dle jeho typu. Článek se zprvu nabíjí téměř konstantním proudem. Po dosažení určité hodnoty napětí začne nabíjecí proud klesat a napětí poroste postupně až k maximální hodnotě, kdy bude článek plně nabit. Nabíjený článek může být ponechán připojen k nabíjecímu obvodu prakticky neomezenou dobu, aniž by byl poškozen.

V případě použití aku-paku s vnitřním obvodem zahrnující i funkci tzv. balanceru je třeba zajistit pouze zdroj napětí, s maximální výstupní hodnotou 8,4 V a vhodně omezeným proudem, který nesmí překročit maximální stanovený proud. Tyto požadavky splňuje obvod uvedený v [1], který je po malé úpravě použitelný. Obvod původně sloužil k nabíjení jednoho Li-Ion článku. Úpravou výstupního snímacího děliče, který je v původním obvodu nastaven na hodnotu 4,2 V lze získat potřebné výstupní napětí 8,4 V, kterým je možné nabíjet aku-pak obsahující balancer.



Obr. 1.2: Schéma zapojení nabíjecího obvodu [1]

Nabíjecí proud ze vstupu (např. palubní síť automobilu nebo síťový stejnosměrný zdroj 12 V) protéká přes tranzistor T1, dále diodu D1 (plní funkci ochrany proti vybití nepřipojenou nabíječkou ke zdroji), dále přes aku-pak připojený na výstup a uzavírá se přes R2. Na rezistoru R2 vzniká zmiňovaným proudem úbytek napětí otvírající

tranzistor T2 přes R3. T2 reguluje proud protékající přes T1 díky uzemňování R1. Led1 tedy plně svítí pokud je nabíječ ve fázi nabíjení proudem. Se zvyšujícím se napětím na aku-paku začíná postupně nabíjecí proud klesat. Klesá úbytek napětí na R2, T2 se uzavírá, svit Led1 slábne a T1 se více otevírá. Současně začíná téci proud stabilizátorem TL431C. Maximální nabíjecí napětí 8,4 V je určeno děličem s rezistory R4 R5 R6 a R7. Pokud se zvětší napětí na vstupním vývodu R nad 2,5 V, zvětší se proud tekoucí mezi vývody K-A a Led2 se postupně rozsvěcuje. C2 a R8 slouží k zajištění stability regulátoru.[1]

1.4 Úvod do problematiky DC/DC měničů

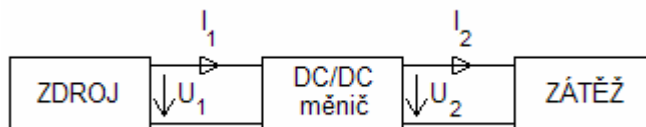
DC/DC měniče pracují jako regulátory elektrické energie, které mění vstupní stejnosměrné napětí U_1 na jiné výstupní stejnosměrné napětí U_2 . Jedná se o tzv. měniče napětěového typu.

Měniče mohou být zapojeny jako snižující, zvyšující nebo invertující (sloužící ke změně polarity napětí). Každý DC/DC měnič se skládá ze základních dvou částí, tj. silového obvodu a řídicí elektroniky.

Silový obvod slouží k regulaci a akumulaci energie. Tuto energii dále nespojitě dodává do zátěže a může ji i filtrovat. Silový obvod je složen ze spínačů a akumulacních prvků. Spínače jsou použity obvykle dva - tranzistor a tzv. nulová dioda. Akumulačními prvky zde rozumíme indukčnost a filtrační kondenzátor.

Řídicí obvod slouží k ovládnání spínače - tranzistoru tak, aby měnič splňoval požadované parametry. Ke spínání tranzistoru je použito pulsně šířkově modulovaného signálu s konstantní či zpětnovazebně závislou střídou.

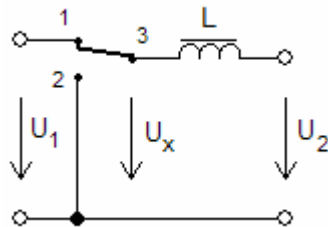
Principem všech spínaných zdrojů je předávání energie do zátěže po částech, které jsou regulovány pomocí času - velikosti doby sepnutí či rozepnutí spínače. Jedná se tedy o nespojitou regulaci. Akumulační prvky obsazené ve spínaných zdrojích slouží jako zdroje dodávání energie do zátěže v okamžiku, kdy dojde k vypnutí spínacích prvků. Akumulační prvky definují vlastnosti spínaného zdroje - výstupní výkon, kmitočet spínání a výstupní napětěové zvlnění. DC/DC měniče mohou ve vhodné konfiguraci přenášet energii i ze zátěže do zdroje.



Obr. 1.3: Blokové zařazení DC/DC měniče do obvodu

2 NÁVRH SILOVÉHO OBVODU MĚNIČE

Princip snižujícího DC/DC měniče s jediným akumulacním prvkem



Obr. 2.1: Snižující měnič s jediným akumulacním prvkem

Akumulacním prvkem bude pouze indukčnost. V obvodu není možné použít k akumulaci samostatně jen kondenzátor, protože by docházelo k nárazovému nabíjení a vybíjení zkratovým proudem. V obvodu bude dále použit tzv. ideální přepínač který potřebuje nulovou dobu pro překlopení svorek a nemá žádný vnitřní odpor. Napětím U_x budeme rozumět střední hodnotu. Spínač bude ovládán periodickým signálem s konstantní dobou periody a proměnlivou střídou. Spínač po dobu t_{ON} spojuje svorky 3 - 1, po dobu t_{OFF} tj. $T-t_{ON}$ spojuje svorky 3 - 2. Střední hodnota u_x tedy bude

$$U_x = U_1 \cdot \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}, \quad (2.1)$$

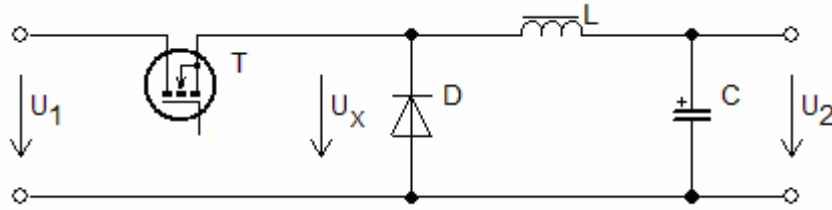
kde velikost U_x bude vždy menší než U_1 .

Výstupní napětí U_2 je rovno velikosti U_x , protože střední hodnota napětí na indukčnosti musí být rovna nule. Rovnici 2.1 lze tedy přepsat do následujícího tvaru

$$U_2 = U_x = U_1 \cdot \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}. \quad (2.2)$$

Výstupní napětí má vždy stejnou polaritu jako napětí vstupní a je vždy menší. Za určitých okolností je možné, aby byl v případě aktivní zátěže dodáván proud z výstupu na vstup. Tento snižující měnič je v anglické literatuře také nazýván jako STEP-DOWN, CHOOOPER nebo BUCK. Pro shrnutí údajů o měniči jsem čerpal z [2], [4].

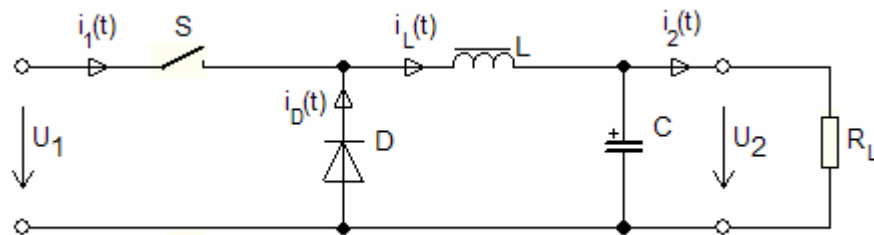
2.1 Rozbor prakticky realizovaného snižujícího měniče



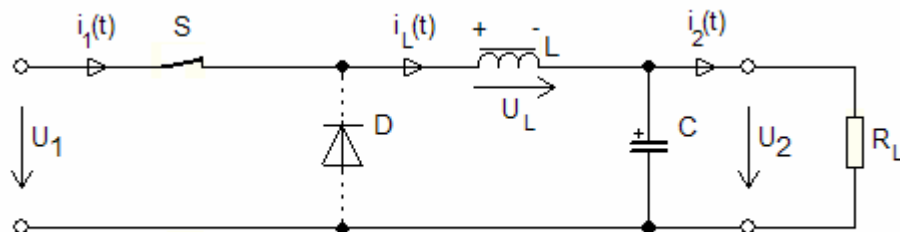
Obr. 2.2: Praktické zapojení snižujícího DC/DC měniče

Měnič obsahuje jako spínač unipolární tranzistor T (na následujícím obrázku 2.3 je nahrazen ideálním spínačem) a rychlou diodu D. Akumulátorem energie je indukčnost L a kapacita C, která však v obvodu z hlediska funkce nemusí být zahrnuta. Kapacita C slouží pouze k potlačení výstupního zvlnění.

Činnost jednotlivých prvků bude vysvětlena v jednotlivých fázích kterými obvod prochází. V této „nulté“ fázi je vyznačen výchozí stav obvodu, kde je spínač S otevřen a akumulční prvky nejsou nabity. V obvodu jsou vyznačeny předpokládané průběhy proudů, zatím však žádný proud obvodem neprotéká. K obvodu je připojena zátěž odporového charakteru R. Vždy může být sepnutý pouze jeden ze spínačů.



Obr. 2.3: Vysvětlení činnosti snižujícího DC/DC měniče – výchozí stav

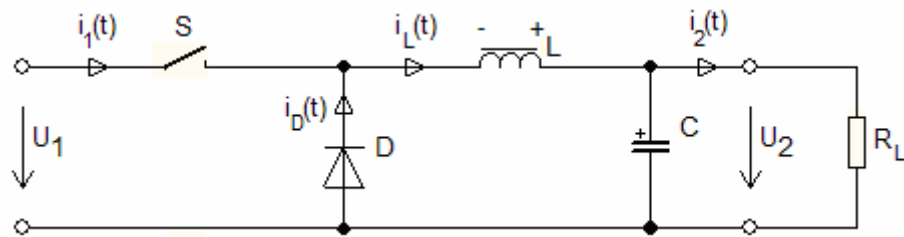


Obr. 2.4: Vysvětlení činnosti snižujícího DC/DC měniče – fáze 1

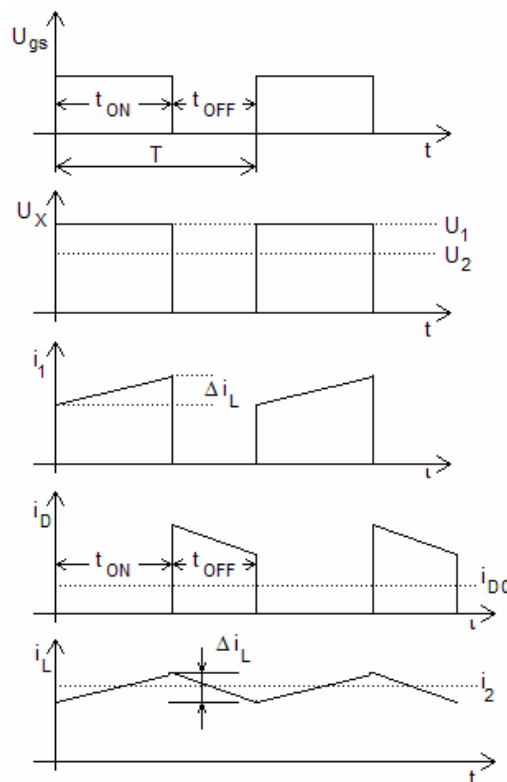
Ve fázi 1 dojde k sepnutí spínače S. Diodou D neprochází žádný proud protože je oproti napájecímu napětí U_1 opačně polarizována (ve skutečnosti diodou prochází velmi malý závěrný proud, ten však z hlediska rozboru funkce můžeme zanedbat). Diodu můžeme tedy v obvodu znázornit jako odpojenou. Proud i_L procházející indukčností

způsobí její polarizaci ve smyslu zdroje a indukčnost se nabije. Vzniklý napěťový úbytek U_L na indukčnosti je v podstatě rozdíl napětí U_1-U_2 . Dále dojde k nabití kondenzátoru C a do zátěže je dodáván proud i_2 .

Ve fázi 2 dojde k rozepnutí spínače S . Zpočátku nabitá indukčnost L má tendenci udržet směr procházejícího proudu, aby se tak stalo dojde k jejímu přepolarizování. Protože je napěťový úbytek na indukčnosti větší než přibližně hodnota $0,7\text{ V}$, dojde k pomyslnému sepnutí druhého spínače - otevření diody. Díky tomu je obvod indukčnost - zátěž - dioda uzavřen a tlumivka opět dodává proud do zátěže. S rostoucím pracovním kmitočtem tento děj trvá kratší dobu - díky tomu si vystačíme s menší hodnotou indukčnosti, což částečně šetří výrobní náklady.



Obr. 2.5: Vysvětlení činnosti snižujícího DC/DC měniče – fáze 2



Obr. 2.6: Časové průběhy napětí a proudu v obvodu během spínání

Časové průběhy nabíjecího a vybíjecího proudu i_1 a i_D nemají ve skutečnosti čistě lineární průběh. Jejich průběh je z počátku nabíjení a vybíjení částečně exponenciální, obrázek tak ukazuje již lineárně aproximované průběhy. Činnost měniče jsem vysvětlil na základě údajů z [2], [4].

2.2 Základní vztahy

Pro odvození vztahů jsem čerpal z [4].

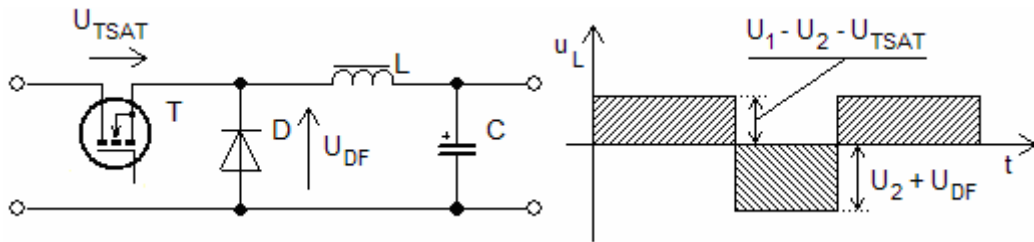
Střída – střídou rozumíme poměr doby otevření spínače t_{ON} ku velikosti periody T

$$s = \frac{t_{ON}}{T} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}. \quad (2.3)$$

Výše uvedený vztah 1.2 lze pomocí vztahu 2.3 přepsat do tvaru

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = U_1 \cdot \frac{t_{ON}}{T} = U_1 \cdot s. \quad (2.4)$$

Odvozený vztah 2.4 platí pro ideální tranzistor a diodu. Pro reálné součástky musíme uvažovat úbytek napětí na tranzistoru U_{TSAT} když je tranzistor v saturaci (úbytek napětí mezi elektrodami gate–source při plném otevření) a úbytek napětí na diodě v otevřeném směru U_{DF} .



Obr. 2.7: Úbytky napětí na spínacích prvcích

Po uvážení úbytků napětí na spínacích prvcích lze vztah 2.4 přepsat do podoby

$$U_2 = (U_1 - U_{TSAT}) \cdot \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} - U_{DF} = (U_1 - U_{TSAT}) \cdot s - U_{DF} \cdot (1 - s). \quad (2.5)$$

Odvození zvlnění výstupního proudu

Během doby kdy je tranzistor T v sepnutém stavu dojde k navýšení proudu i_L . Velikost tohoto zvlnění souvisí s velikostí indukčnosti L , kde je po dobu sepnutí tranzistoru konstantní napětí dané rozdílem $U_1 - U_2$.

$$U_1 - U_2 = L \cdot \frac{\Delta I}{t_{ON}} \quad (2.6)$$

Ze vztahu 2.6 je možné vyjádřit zvlnění proudu jako

$$\Delta I = t_{ON} \cdot \frac{U_1 - U_2}{L}. \quad (2.7)$$

Po dosazení z rovnice 2.3 obdržíme vztah

$$\Delta I = s \cdot T \cdot \frac{U_1 - U_2}{L}, \quad (2.8)$$

kde velikost napětí U_2 můžeme nahradit za napájecí napětí U_1 které je na výstup připojeno během střídá

$$\Delta I = s \cdot T \cdot \frac{U_1 - U_1 \cdot s}{L} = \frac{1}{f} \cdot \frac{s \cdot U_1 \cdot (1 - s)}{L} = \frac{s \cdot U_1 \cdot (1 - s)}{f \cdot L}, \quad (2.9)$$

kde f je pracovní frekvence měniče. Pro výpočet indukčnosti lze vztah 2.9 přepsat do tvaru

$$L_{MIN} = \frac{U_{1MAX} \cdot s \cdot (1 - s)}{\Delta I_{Lmax} \cdot f} = \frac{U_{1MAX}}{4 \cdot \Delta I_{Lmax} \cdot f}. \quad (2.10)$$

Pro stanovení minimální kapacity vyhlazovacího kondenzátoru pro požadované zvlnění výstupního napětí platí vztah [4]

$$C_{MIN} = \frac{\Delta I_L \cdot T}{8 \cdot \Delta U_{2MAX}}. \quad (2.11)$$

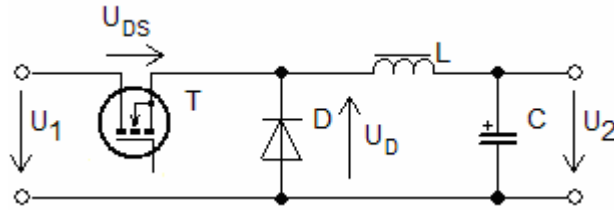
Posledním krokem je kontrola rezonance - kmitočet rezonančního obvodu LC musí být podstatně menší než kmitočet na kterém pracuje měnič. To je zaručeno pokud platí vztah [4]

$$C \gg \frac{1}{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot L}, \quad (2.12)$$

kde C je kapacita zvoleného kondenzátoru.

Dimenzování tranzistoru

Z časových průběhů napětí a proudů znázorněných na obrázku 2.6 lze odvodit minimální velikosti napětí a proudů na které musí být použité součástky dimenzovány.



Obr. 2.8: Znárodnění napěťových úbytků a protékajících proudů součástkami

Maximální napětí na přechodu drain–source:

$$U_{DSMAX} = U_1 \quad (2.13)$$

Maximální proud tekoucí přes tranzistor:

$$I_{DMAX} = I_{SMAX} = I_{2MAX} = \frac{1}{2} \Delta I_L + I_{20} \quad (2.14)$$

Efektivní proud tekoucí tranzistorem

$$I_{Def} = I_{20} \cdot \sqrt{S_{MAX}} \quad (2.15)$$

kde \$S_{MAX}\$ je maximální velikost vypočtené střídy.

Statické výkonové ztráty v sepnutém stavu:

$$P_{Ts} = I_{Def}^2 \cdot R_{DSon} \quad (2.16)$$

Dynamické výkonové ztráty během doby sepnutí a rozepnutí:

$$P_{Td} = (E_{on-off} + E_{off-on}) \cdot f \quad (2.17)$$

Celkové výkonové ztráty jsou součtem ztrát statických a dynamických:

$$P_{Tcelk} = P_{Ts} + P_{Td} \quad (2.18)$$

Dimenzování diody

Napěťové namáhání diody:

$$U_{Dmin} = U_{1MAX} \quad (2.19)$$

Proud tekoucí diodou v propustném směru:

$$I_{F \min} = I_{2MAX} = I_2 + \frac{1}{2} \cdot \Delta I_{LbezC \max} \quad (2.20)$$

2.3 Praktický návrh a výpočet silového obvodu měniče

Rozsah napájecího napětí budu uvažovat 8,5 V až 5,5 V. Maximální výstupní proud měniče tekoucí přes výkonovou led diodu bude 1 A. Velikost výstupního napětí volím pro výpočet 3,5 V, tato hodnota je typický napěťový úbytek na výkonových led diodách. Protože zátěží bude pouze výkonová led dioda, která odebírá konstantní proud, budu výstupní zvlnění volit např. 20% výstupního napětí tj. 0,7 V. Možné zákmity výstupního napětí projevující se jako problikávání led diody by byly dle mého názoru nepostřehnutelné, protože řídicí obvod měniče pracuje na vysokém kmitočtu a bude neustále výstupní proud kontrolovat a případně velikost střídavy ihned upraví. Pokud by měničem měla být napájena další elektronika, je doporučeno zvolit výstupní zvlnění do 10% výstupního napětí [4]. Pracovní frekvence měniče je odvozena od možností generátoru v mikrokontroléru. Tento kmitočet jsem vypočetl v kapitole 1.2, $f = 31250 \text{ Hz}$.

Perioda spínání:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{31250} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 32 \mu\text{s} \quad (2.21)$$

Výpočet střídavy a jejího rozsahu

Budu uvažovat ideální spínače, až zvolím součástky provedu přepočítání stříd. Střída S_{MIN} je pro plně nabitá baterie, střída S_{MAX} je pro baterie vybité.

$$s = \frac{U_2}{U_1} \quad (2.22)$$

$$s_{MAX} = \frac{U_2}{U_{1MIN}} = \frac{3,5}{5,5} = 0,636 = 63,6\% \text{ periody } T \quad (2.23)$$

$$s_{MIN} = \frac{U_2}{U_{1MAX}} = \frac{3,5}{8,4} = 0,417 = 41,7\% \text{ periody } T \quad (2.24)$$

Rozsahy spínacích časů

Pro s_{MAX} :

$$t_{ONMAX} = T \cdot s_{MAX} = 32 \cdot 10^{-6} \cdot 0,636 = 2,04 \cdot 10^{-5} s = 20,35 \mu s \quad (2.25)$$

$$t_{OFFMAX} = T \cdot (1 - s_{MAX}) = 32 \cdot 10^{-6} \cdot 0,364 = 1,16 \cdot 10^{-5} s = 11,65 \mu s \quad (2.26)$$

Pro s_{MIN} :

$$t_{ONMIN} = T \cdot s_{MIN} = 32 \cdot 10^{-6} \cdot 0,417 = 1,334 \cdot 10^{-5} s = 13,34 \mu s \quad (2.27)$$

$$t_{OFFMIN} = T \cdot (1 - s_{MIN}) = 32 \cdot 10^{-6} \cdot 0,583 = 1,866 \cdot 10^{-5} s = 18,66 \mu s \quad (2.28)$$

Výpočet odporu zátěže

$$R_Z = \frac{U_{20}}{I_{20}} = \frac{3,5}{1} = 3,5 \Omega \quad (2.29)$$

Nyní potřebuji zvolit zvlnění výstupního proudu bez vyhlazovacího kondenzátoru. Velikost tohoto zvlnění v podstatě vypočteme na základě zvoleného výstupního napětového zvlnění bez vyhlazovacího kondenzátoru. Výstupní napětové zvlnění bez vyhlazovacího kondenzátoru je potřeba zvolit tak, aby námi vypočtené zvlnění výstupního proudu bez vyhlazovacího kondenzátoru vyšlo jako několiknásobek výstupního zvlnění proudu s vyhlazovacím kondenzátorem.[4]

Výstupní napětové zvlnění volím 1,2 V, z něj vypočtu výstupní proudové zvlnění bez vyhlazovacího kondenzátoru:

$$\Delta I_{LbezC \max} = \Delta I_{2bezC \max} = \frac{\Delta U_2}{R_L} = \frac{1,2}{3,5} = 343 mA \quad (2.30)$$

Výpočet indukčnosti L1

$$L_{MIN} = \frac{U_{1MAX}}{4 \cdot \Delta I_{LbezC \max} \cdot f} = \frac{8,4}{4 \cdot 0,343 \cdot 31250} = 1,96 \cdot 10^{-4} H = 196 \mu H \quad (2.31)$$

Mohl bych zvolit např. tlumivku výrobce Talema DPU220A1 s indukčností 220 μH , proud 1 A, odpor cívky 196 m Ω . Na této tlumivce však bude docházet k vyšším ztrátám, proto volím raději tlumivku DPU220A3, která je pro proud 3 A a má nižší odpor cívky 134 m Ω .

Přepočet skutečného maximálního výstupního zvlnění proudu bez vyhlazovacího kondenzátoru:

$$\Delta I_{LbezC \max} = \frac{U_{1MAX}}{4 \cdot L \cdot f} = \frac{8,4}{4 \cdot 220 \cdot 10^{-6} \cdot 31250} = 0,305 \text{ A} = 305 \text{ mA} \quad (2.32)$$

Výpočet vyhlazovacího kondenzátoru C3

Výpočet minimální velikosti vyhlazovacího kondenzátoru ze vztahu 2.11:

$$C_{MIN} = \frac{\Delta I_{LbezC \max} \cdot T}{8 \cdot \Delta U_{2MAX}} = \frac{0,29 \cdot 32 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 0,7} = 1,657 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 1,7 \mu\text{F} \quad (2.33)$$

Vypočtená velikost vyhlazovacího kondenzátoru odpovídá impedanci:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 31250 \cdot 1,7 \cdot 10^{-6}} = 3 \Omega \quad (2.34)$$

Minimální napětí na kondenzátoru je 3,5 V + polovina výstupního napěťového zvlnění. Je vhodné použít kondenzátor s nízkým sériovým odporem ESR. Zvolím např. kondenzátor HITANO 33uF 16V s ESR 2 Ω.

Kontrola impedance:

$$X_{Csk} = ESR + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = 2 + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 31250 \cdot 33 \cdot 10^{-6}} = 2,154 \Omega \quad (2.35)$$

Při připojení jednoho kusu kondenzátoru paralelně k výstupu měniče bude velikost impedance přibližně 2,2 Ω. Pro srovnání - při použití dvou paralelně spojených kondenzátorů bude velikost impedance 1 Ω. Použití jednoho kondenzátoru by tedy mělo stačit.

Vypočtená impedance zvoleného kondenzátoru X_{Csk} je nižší než vypočtená impedance teoretického kondenzátoru $X_C \Rightarrow$ zvolený kondenzátor lze použít.

Kontrola rezonance podle vzorce 2.12 – velikost zvoleného kondenzátoru musí být mnohonásobně větší než velikost získaná ze vztahu:

$$C \gg \frac{1}{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot L} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 31250^2 \cdot 220 \cdot 10^{-6}} = 118 \text{ nF} \quad (2.36)$$

Kapacita zvoleného kondenzátoru 33 μF je mnohonásobně větší než 118 nF. To znamená, že k rezonanci by nemělo dojít \Rightarrow měnič by měl splňovat zadané parametry.

Dimenzování tranzistoru T1

$$U_{DS\min} = U_{1MAX} = 8,4V$$

$$I_{D\min} = I_{20} + 1/2 \cdot \Delta I_{LbezC\max} = 1 + 0,5 \cdot 0,305 = 1,15 A$$

Použiji tranzistor mosfet s kanálem typu P, např. IRF9Z34N s parametry [7]:

$$U_{DS} = -55 V$$

$$I_D = -19 A \text{ (trvale)}$$

$$R_{DSon} = \max 0,1 \Omega \text{ při } U_{GS} = -10 V$$

$$\text{Ztráty } P_D = 2 W$$

Pro výpočet statických ztrát je potřeba spočítat efektivní proud tekoucí tranzistorem:

$$I_{Def} = I_{20} \cdot \sqrt{S_{MAX}} = 1 \cdot \sqrt{0,636} = 0,8 A \quad (2.37)$$

Statické ztráty – pro výpočet budu uvažovat horší variantu $R_{DSon} = 0,02 \Omega$:

$$P_{Ts} = I_{Def}^2 \cdot R_{DSon} = 0,8^2 \cdot 0,020 = 0,0128 W \quad (2.38)$$

Dimenzování diody D1

$$U_{D\min} = U_{1MAX} = 8,5 V \quad (2.39)$$

$$I_{FMAX} = I_{2MAX} = I_{20} + \frac{1}{2} \cdot \Delta I_{LbezC\max} = 1 + 0,5 \cdot 0,29 = 1,15 A \quad (2.40)$$

S ohledem na pracovní frekvenci volím rychlou Schottkyho diodu např. typ SK34A se závěrným napětím 40 V a maximálním procházejícím proudem 3 A. Pomocí katalogového listu [8] jsem stanovil napěťový úbytek na diodě v otevřeném směru 0,38 V při protékajícím proudu 1 A.

Přepočtení skutečné střídý

Nyní když jsou zvoleny součástky můžu přepočítat skutečnou střídý s přihlédnutím k napěťovým úbytkům na součástkách. Ze vztahu pro skutečné výstupní napětí U_2 odvodím vztah pro výpočet střídý:

$$U_2 = (U_1 - U_{TSAT}) \cdot s - U_{DF} \cdot (1 - s) \quad (2.41)$$

U_{DF} představuje napěťový úbytek na diodě v propustném směru, U_{TSAT} je napěťový úbytek na tranzistoru při plném otevření.

$$s_R = \frac{U_2 + U_{Df}}{U_1 - U_{TSAT} + U_{Df}} \quad (2.42)$$

$$s_{RMAX} = \frac{U_2 + U_{Df}}{U_{1MIN} - U_{TSAT} + U_{Df}} = \frac{3,5 + 0,35}{5,5 - 0,1 + 0,35} = 0,669 = 67\% \quad (2.43)$$

$$s_{RMIN} = \frac{U_2 + U_{Df}}{U_{1MAX} - U_{TSAT} + U_{Df}} = \frac{3,5 + 0,35}{8,5 - 0,1 + 0,35} = 0,44 = 44\% \quad (2.44)$$

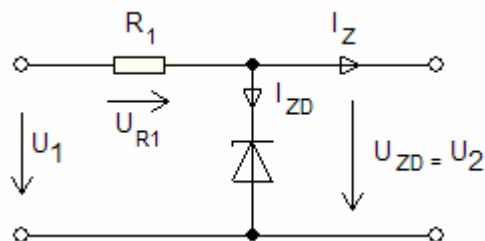
3 NÁVRH ŘÍDÍCÍHO OBVODU MĚNIČE

3.1 Napájecí obvod mikrokontroléru

Úkolem napájecího obvodu je stabilizovat napětí z baterií pro mikrokontrolér a případně další obvody na vhodnou úroveň.

Prakticky odpadá možnost použít klasický monolitický stabilizátor např. typ 7805, protože díky jeho vyššímu příčnému proudu na něm vzniká poměrně vysoký ztrátový výkon – toto řešení je pro přenosné zařízení napájené bateriemi nevhodné. Velikost ztrát by mnohonásobně převýšila celkový odběr řídicí elektroniky, který odhaduji do maximální hodnoty 10 mA.

Oproti běžnému monolitickému stabilizátoru by bylo méně ztrátové řešení použít stabilizátor s referenční Zenerovou diodou. Pro ukázkou zvolím maximální odebíraný proud řídicí elektroniky 10 mA, předpokládám že jeho velikost však bude ještě menší. Kdybych zvolil Zenerovu diodu např. typ BZX55C 4V3 s parametry $U_{ZD} = 4,3$ V, $I_Z = 5$ mA, $I_{ZMAX} = 90$ mA, $P_{ZMAX} = 0,5$ W, mohl by ukázkový výpočet vypadat následovně.



Obr. 3.1: Ukázkové obvodové schéma stabilizátoru se Zenerovou diodou

Výpočet předřadného rezistoru R_1 pro průměrnou hodnotu napájecího napětí:

$$R_1 = \frac{\frac{U_{1MAX} + U_{1MIN}}{2} - U_{ZD}}{I_{ZD} + I_Z} = \frac{7 - 4,3}{0,005 + 0,01} = 180 \Omega \quad (3.1)$$

Pokud by řídicí elektronika odebírala maximálně proud 10 mA, na rezistoru R_1 by vzniknul ztrátový výkon:

$$P_{R1} = (U_{1MAX} - U_{ZD}) \cdot (I_{ZD} + I_Z) = (8,5 - 4,3) \cdot (0,005 + 0,010) = 63 \text{ mW} \quad (3.2)$$

Velikost ztrátového výkonu 63 mW přeměněného na teplo v zařízení napájeném z baterií je příliš velká.

Pro stabilizaci napájecího napětí se výborně hodí využít tzv. LowDrop stabilizátor. Jedná se o speciální monolitické stabilizátory které, mají oproti klasickým stabilizátorům velmi nízký příčný proud a tím i nízký ztrátový výkon. Některé typy mají navíc vyvedenou řídicí elektrodu, kterou je možné stabilizátor zapnout. Stabilizátor tak může být trvale připojen k akumulátorům a není potřeba řešit jeho odpojení.

Zvolil jsem stabilizátor LF50CDT, $U_2 = 5 \text{ V}$, $U_{1MAX} = 16 \text{ V}$, $I_{MAX} = 1 \text{ A}$, stabilizátor řídicí elektrodu neobsahuje – jeho připojování k bateriím budu řešit dále.

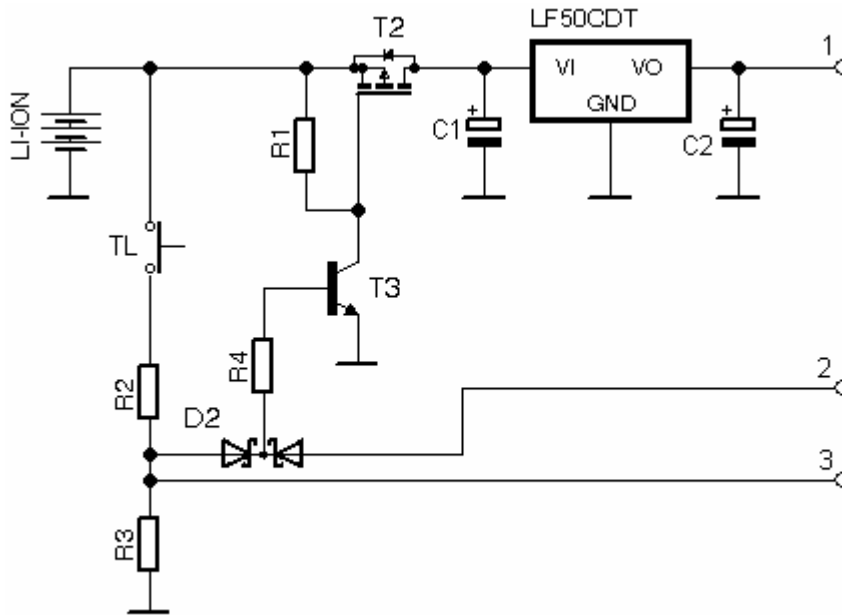
Na základě katalogového listu [9] je napěťový úbytek na stabilizátoru 350 mV, při proudu tekoucím zátěží 200 mA. Příčný proud stabilizátorem je při uvedeném výstupním proudu 12 mA. Ztrátový výkon je pro tuto situaci do 4,2 mW. To znamená, že použití LowDrop stabilizátoru je výhodnější oproti stabilizátoru se Zenerovou diodou. Ve skutečnosti bude ztrátový výkon ještě menší, protože řídicí elektronika bude spotřebovávat proud do 10 mA.

Zvolený stabilizátor bude doplněn na vstup i výstup blokovacími kondenzátory dle doporučení výrobce.

3.2 Ovládací obvod mikrokontroléru

Navrhované zařízení bude ovládáno pouze stisknutím tlačítka. Protože zvolený stabilizátor neobsahuje řídicí elektrodu, kterou by ho jinak bylo možné logickou úrovní aktivovat, rozhodl jsem se pro připojování stabilizátoru použít unipolární tranzistor typu pmos. Řídicí elektrodu unipolárního tranzistoru budu spínat pomocí bipolárního tranzistoru, protože při odpojené kladné napájecí svorce akumulátorů se všechny vývody mikrokontroléru chovají jako logická 0 a došlo by tak samovolnému sepnutí tranzistoru (i v případě bude-li řídicí elektroda připojena k napájení přes blokovací rezistor).

Pro připojení stabilizačního obvodu k bateriím a ovládání mikrokontroléru jsem navrhnul následující zapojení.



Obr. 3.2: Schéma napájecího a ovládacího obvodu mikrokontroléru

Po stisknutí tlačítka TL bude připojen k bateriím odporový dělič R2 R3. Proud z tohoto děliče poteče přes diodu D2 a omezovací rezistor R4 do tranzistoru T3, kde vyvolá jeho sepnutí. Sepnutí tranzistoru T3 způsobí připojení řídicí elektrody unipolárního tranzistoru T2 na zem, čímž dojde k jeho otevření a připojení LowDrop stabilizátoru LF50CDT k napájení – na vývodu 1 bude stabilizované napětí 5 V. Napájení mikrokontroléru a další řídicí elektroniky bude napájeno na vývod 1.

Po naběhnutí mikrokontroléru bude programově zajištěno, aby na zvoleném výstupním vývodu byla nastavena úroveň logická 1. Tento výstupní vývod bude napojen na ovládací vstup 2 – mikrokontrolér tak způsobí přidržení otevření tranzistoru T3 a napájecí obvod tak zůstane nadále v chodu i po uvolnění tlačítka.

Výstupem 3 bude přiváděna do mikrokontroléru informace o tom, zda li bylo tlačítko stisknuto. Pokud tlačítko stisknuto nebude, bude tento vývod přes rezistor R3 uzemněn.

Odporový dělič R2 R3 bude navrhnut tak, aby i při plně nabitých akumulátorech nedošlo na snímacím vývodu 3 ke zvýšení napětí o více než 5 V, čímž by mohlo dojít k poškození mikropočítače. Dioda D2 je dvojitá dioda spojená katodami v jednom pouzdře – použití tohoto typu součástky je výhodné z prostorových důvodů. Součástka je do obvodu zařazena proto, aby nedocházelo k toku proudu z výstupního vývodu 2 přes dělič do vstupu 3. Rezistor R1 slouží k blokování řídicí elektrody unipolárního tranzistoru T2 proti napájecímu napětí - pokud tedy nebude stisknuto tlačítko TL a na vstupní vývod 2 nepůjde signál z mikropočítače zařízení bude vypnuto. Filtrační kondenzátory C1 a C2 napěťového stabilizátoru budou použity na základě doporučení výrobce v katalogovém listu [9].

Výpočet odporového děliče R2 R3

Po stisknutí tlačítka budu požadovat výstupní napětí např. 2 V při protékajícím proudu 1 mA. Rezistor R3 volím 1,5 KΩ, dále vypočtu rezistor R2 jako

$$R_2 = \frac{U_1 \cdot R_3}{U_2} - R_3 = \frac{8,5 \cdot 1500}{2} - 1500 = 4,9 \text{ K}\Omega. \quad (3.3)$$

Rezistor R2 volím 5,6 KΩ.

Tranzistor T2 použiji unipolární pmos, zvolil jsem typ BSS83P, přes který může protékat proud maximálně 330 mA. Prakticky přes tranzistor poteče proud několikanásobně nižší, přibližně do 15 mA. Tento tranzistor dále doplním o rezistor R1, který slouží k jeho uzavření. Protože připojování napájecího obvodu není periodicky se opakující děj na vysokém kmitočtu, volím R1 = 10 KΩ. Přes R1 tedy může do řídicí elektrody téci proud při minimálním napětím baterií 0,55 mA. Výrobce T2 udává v katalogovém listu [10] velikost náboje který je potřeba ke změně stavu tranzistoru do řídicí elektrody načerpat či odčerpat Q = 3,57 nC. Při použití rezistoru R1 = 10 KΩ to znamená, že se tranzistor při přechodu ze zapnutého do vypnutého stavu uzavře za 6,5 μs, což je hodnota dle mého názoru v této aplikaci naprosto dostačující.

Diodu D2 volím dvojitou Schottkyho diodu typ BAR43C, výrobce udává v [11] napěťový úbytek do hodnoty 0,3 V v propustném směru.

Pro spínání pmos tranzistoru T2 použiji bipolární NPN tranzistor T3. Zvolil jsem typ BC817-16 s typickou hodnotou zesílení 160. Rezistor R4 jsem zvolil 15 KΩ. To znamená že řídicí elektroda T1 se bude vybíjet proudem

$$I_g = \frac{U_{R3} - U_{D1}}{R4} \cdot h_{FE} = \frac{1,73 - 0,3}{15000} \cdot 160 = 15 \text{ mA}. \quad (3.4)$$

Tranzistor T1 přejde ze stavu vypnuto do stavu zapnuto za dobu 0,24 μs, což je hodnota v této aplikaci plně dostačující. Tlačítko TL je možné dále doplnit paralelně řazeným kondenzátorem 10 nF pro potlačení zákmitů.

3.3 Měření proudu protékajícího výkonovou led diodou

Výrobci různých výkonových led diod ve svých katalogových listech obvykle garantují maximální protékající proud led diodou. Dále uvádějí různé provozní parametry např. chromatickou teplotu světla či rozsah napěťového úbytku, který může na led diodě vzniknout, při průchodu proudu který je obvykle nižší, než garantovaný maximální proud – tzv. výrobcem doporučený proud.

Proud bude měřen jako úbytek napětí na rezistoru sériově připojeném k výkonové led diodě. Aby byly ztráty na měřícím rezistoru minimální je nutné, aby jeho velikost byla malá. S nižší velikostí měřícího rezistoru na něm bude vznikat nižší napěťový úbytek, díky tomu je nutné přihlédnout k možnostem měření malých napětí AČ převodníkem obsaženém v mikrokotroléru. Kdyby měřené napětí bylo výrazně nižší, než referenční napětí AČ převodníku, nedal by se efektivně rozsah AČ převodníku

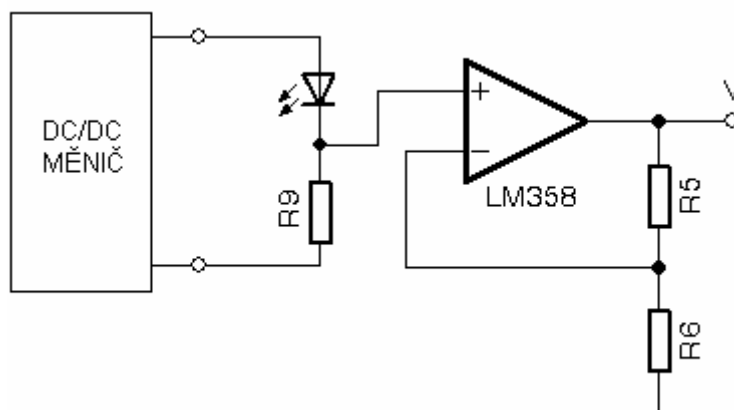
využít. Aby tedy došlo ke zefektivnění měření, je nutné měřený napět'ový úbytek vhodně zesílit.

Nyní budu uvažovat zvolenou velikost měřicího rezistoru $0,1 \Omega$. Při proudu 1 A bude napět'ový úbytek na měřicím rezistoru 100 mV . Mikrokontrolér bude velikost změřeného napětí průběžně sledovat a bude současně upravovat střidu, aby do zátěže tekla konstantní proud.

Zvolený mikrokontrolér ATtiny25 obsahuje desetibitový AČ převodník. Referenční napětí je možné programově nastavit na $1,1 \text{ V}$ nebo $2,56 \text{ V}$. Je patrné, že obě varianty jsou výrazně větší než očekávaný napět'ový úbytek 100 mV , proto využiji zesilovače. Referenční napětí AČ převodníku zvolím $2,56 \text{ V}$, pokud této úrovně bude na vstupním vývodu převodníku dosaženo, bude v desetibitovém registru pro výsledek převodu v dekadické soustavě hodnota 1023 .

Abych zbytečně nenavýšoval celkový příkon řídicí elektroniky, rozhodl jsem se použít operační zesilovač s nízkým příkonem. Svými parametry mě vyhovuje typ LM358. Výrobce v katalogovém listu [12] na základě povahy zátěže, která je zde AČ převodník s vysokým vstupním odporem, udává příkon přibližně do hodnoty 2 mA . Operační zesilovač bude zapojen v neinvertujícím zapojení.

Napět'ové zesílení volím pro proud 1 A $A_u = 23$. Při tomto zesílení bude výstupní napětí $2,3 \text{ V}$, to znamená, že hodnota porovnávacího registru mikrokontroléru bude nastavena na hodnotu 920 .



Obr. 3.3: Zařazení operačního zesilovače do obvodu měniče

Výpočet rezistorů R5 a R6 pro zesílení 23

Rezistor R_6 volím 680Ω , pro výpočet R_5 použiji vztah

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R_6 + R_5}{R_{R6}} \Rightarrow R_5 = 23 \cdot 680 - 680 = 14,96 \text{ K}\Omega. \quad (3.5)$$

Rezistor R_5 volím $15 \text{ K}\Omega$, zesílení OZ s použitím zvoleného rezistoru je $23,1$. Měřicí rezistor R_9 volím $0,1 \Omega$, pokud by nebylo možné tento rezistor zakoupit, použiji 10 kusů paralelně zapojených rezistorů 1Ω . Operační zesilovač LM358 obsahuje v jednom pouzdře dva operační zesilovače. Pro funkci navrhovaného zařízení bude

použit pouze jeden. Nevyužitý OZ bude zapojen jako napěťový sledovač s uzemněným neinvertujícím vstupem.

3.3.1 Úprava obvodu pro použití led diody s nižším výkonem

Zařízení je dimenzováno na maximální proud led diodou 1 A. Pro tento proud jsem provedl výpočet zpětnovazebních rezistorů operačního zesilovače a stanovil jsem hodnotu porovnávacího registru, se kterou bude pracovat program nahraný v mikrokontroléru. Pokud bych chtěl použít jinou výkonovou led diodu, pro proud nižší než 1 A, mohu řídicí obvod měniče přizpůsobit třemi způsoby.

První varianta je pouze přeprogramování mikrokontroléru. Základem je snížení hodnoty porovnávacího registru AČ převodníku, díky tomu ale nevyžijí jeho maximální rozsah což je nevýhodné. U výkonových led diod kterými protéká nižší proud řádově pod 700 mA, bude na výstupu měniče docházet k vyššímu zvlnění. Tato varianta je z praktického pohledu nevhodná.

Druhá varianta spočívá ve změně zpětnovazebních rezistorů operačního zesilovače, program v mikrokontroléru bude ponechán původní. Prakticky to znamená, že zesílení musí být zvoleno tak, aby AČ převodník detekoval stejný napěťový úbytek u led diody kterou protéká proud 1 A, jako u led diody kterou protéká např. 500 mA. Výstupní napětí operačního zesilovače však nesmí být za žádných okolností nižší, protože by došlo k navýšení střídy a led dioda vyrobená na nižší proud by se zničila. Tato varianta je prakticky použitelná, ale můžeme se dostat do situace, kdy díky nevhodně vybraným rezistorům z odporových řad získáme zesílení naopak příliš velké. Z tohoto důvodu nebude možné provozovat led diodu na maximální výkon, na který je přitom konstruována.

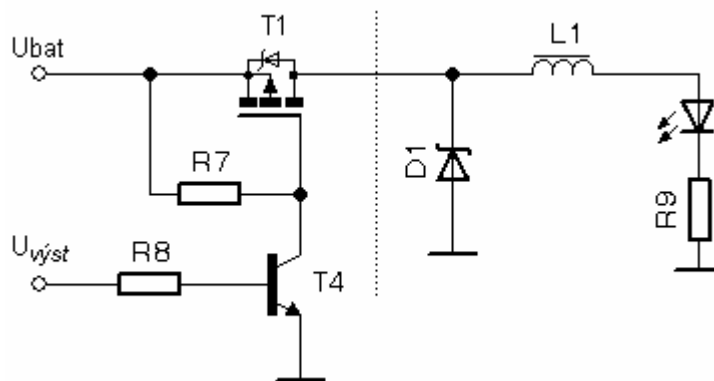
Třetí nejvhodnější varianta spočívá v kombinaci obou předchozích variant. Pro zvolenou výkonovou led diodu se vypočte napěťový úbytek na měřícím rezistoru a stanoví se vhodné zesílení tak, aby došlo k optimálnímu využití rozsahu AČ převodníku. Poté se provede volba rezistorů z odporových řad a zesílení se přepočte pro vybrané rezistory. Podle nově získaného zesílení se v programu upraví hodnota porovnávacího registru AČ převodníku. Nevýhodou této varianty je pouze nutnost mikrokontrolér znovu přeprogramovat. Oproti předchozím variantám však můžeme výkonovou led diodu provozovat na maximální proud garantovaný výrobcem a využít tak maximálně její konstrukční výkon.

Tab. 3.1: Ukázka zvolených rezistorů zesílení OZ pro různé typy led

výrobce	typ	I_{MAX}	U_{RM}	A_u	AČ	zvolené rezistory	
		[mA]	[mV]			R6	R5
Philips	LXML-PWC1-0100	1000	100	23,1	924	680R	15K
SEOUL	W11191	400	40	61,0	976	2K	56K
Philips	LXHL-BW02	350	35	71,0	994	2K	140K

3.4 Řízení silového obvodu měniče

Zvolený tranzistor IRF9Z34N bude spínat silový obvod měniče. Pro buzení tohoto tranzistoru jsem se rozhodl použít následující zapojení.



Obr. 3.4: Zapojení budiče výkonového tranzistoru

Rezistor R7 má za úkol nabíjet řídicí elektrodu pmos tranzistoru, která se z obvodového hlediska chová jako kondenzátor. Ve vypnutém stavu bude R7 udržovat unipolární tranzistor v rozepnutém stavu. Velikost R7 závisí na kmitočtu, na kterém měnič pracuje a na velikosti elektrického náboje, který je potřeba do řídicí elektrody unipolárního tranzistoru přecherpat.

Výrobce T1 udává v katalogovém listu [7] velikost náboje, který je potřeba k změně stavu tranzistoru do řídicí elektrody přecherpat $Q = 9,9 \text{ nC}$. Měnič pracuje na kmitočtu 31250 Hz, doba periody je 32 μs . Požaduji, aby doba rozepnutí tranzistoru byla co nejmenší. Na základě vztahu který doporučuje výrobce unipolárních tranzistorů IRF uvedeném v [13], provedu výpočet potřebného nabíjecího a vybíjecího proudu řídicí elektrody. Dobu rozepnutí tranzistoru jsem pro výpočet zvolil 1 μs .

$$Q = t \cdot i \Rightarrow i = \frac{Q}{t} = \frac{9,9 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 10^{-6}} = 0,0099 \text{ A} = 9,9 \text{ mA} . \quad (3.6)$$

Vypočtenému proudu odpovídá velikost rezistoru 858 Ω , zvolil jsem rezistor 910 Ω . Se zvoleným rezistorem bude doba nabíjení řídicí elektrody 1,05 μs , rozhodl jsem se zapojení s tímto rezistorem prakticky otestovat.

Tranzistor T4 je buzen pulsně šířkově modulovaným signálem z mikrokontroléru přes omezovací rezistor R8. Úkolem tranzistoru T4 je vybíjet nashromážděný elektrický náboj v řídicí elektrodě tranzistoru T1 a způsobit tak jeho přepnutí do stavu zapnuto. Zvolil jsem typ tranzistoru BC817-16 s typickou hodnotou zesílení 160 a maximálním kolektorovým proudem 500 mA v sepnutém stavu. Výrobce mikrokontroléru uvádí v katalogového listu [6] minimální výstupní napětí na zvoleném výstupu 4,3 V (při dodržení hodnoty napájecího napětí 5 V). Z důvodu rychlého zapnutí pmos tranzistoru, jsem zvolil vybíjecí proud řídicí elektrody např. 150 mA.

Pro výpočet rezistoru R8 jsem odvodil vztah

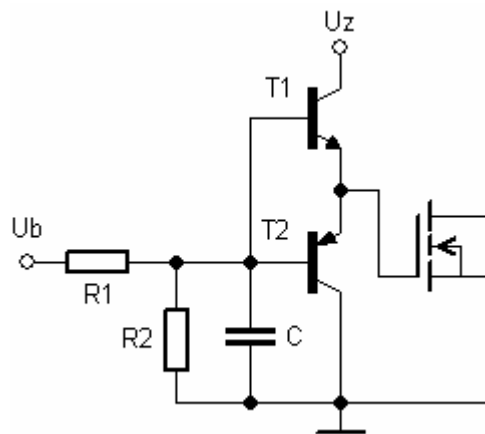
$$R_8 = \frac{U_{\text{výst}} - U_{BE}}{I_B} = \frac{U_{\text{výst}} - U_{BE}}{\frac{I_C}{h_{FE}}} = \frac{4,3 - 0,7}{\frac{150 \cdot 10^{-3}}{160}} = 3840 \, \Omega, \quad (3.7)$$

kde $U_{\text{výst}}$ je napětí generované pwm výstupem mikrokontroléru. Rezistor R8 volím 3,9 K Ω . Přepočtením pomocí vztahu 3.6 jsem zjistil, že tranzistor přejde do zapnutého stavu v čase do 100 ns.

Výhodou tohoto zapojení je neinvertování vstupního signálu, dále pak skutečnost, že po vypnutí zařízení zůstane výkonový tranzistor v rozepnutém stavu. Díky tomu je možné použít připojovací obvod napájení navrhnutý v kapitole 3.2, který je ovládaný tlačítkem. V případě zapnutí zařízení tranzistor velmi rychle přechází do sepnutého režimu – náboj řídicí elektrody je zkratován přes T4 na zem. Oproti tomu přechod z režimu sepnuto - rozepnuto je pomalejší, protože řídicí elektroda se nabíjí proudem tekoucím přes rezistor R7.

Použití uvedeného zapojení budiče by pro vyšší kmitočty pwm, s použitým tranzistorem IRF9Z34N, již nebylo vhodné. Tranzistor by při rozpínání nepracoval čistě jako spínač, ale částečně by mohl přecházet do odporového režimu. Díky tomu by na něm docházelo k značným teplotním ztrátám, které by zbytečně snižovaly celkovou účinnost zařízení. Pro vyšší kmitočty by tedy bylo vhodné použít tzv. aktivního budiče unipolárního tranzistoru.

Vhodný typ integrovaného budiče by mohl být např. obvod ICL7667, který pracuje s napěťovými úrovněmi TTL a je schopný přepínat unipolární tranzistory mezi spínacími stavy v čase řádově do 70 ns [14]. Další alternativou je použití zapojení aktivního budiče sestaveného z diskretních součástek např. komplementárního emitorového sledovače uvedené v [5].

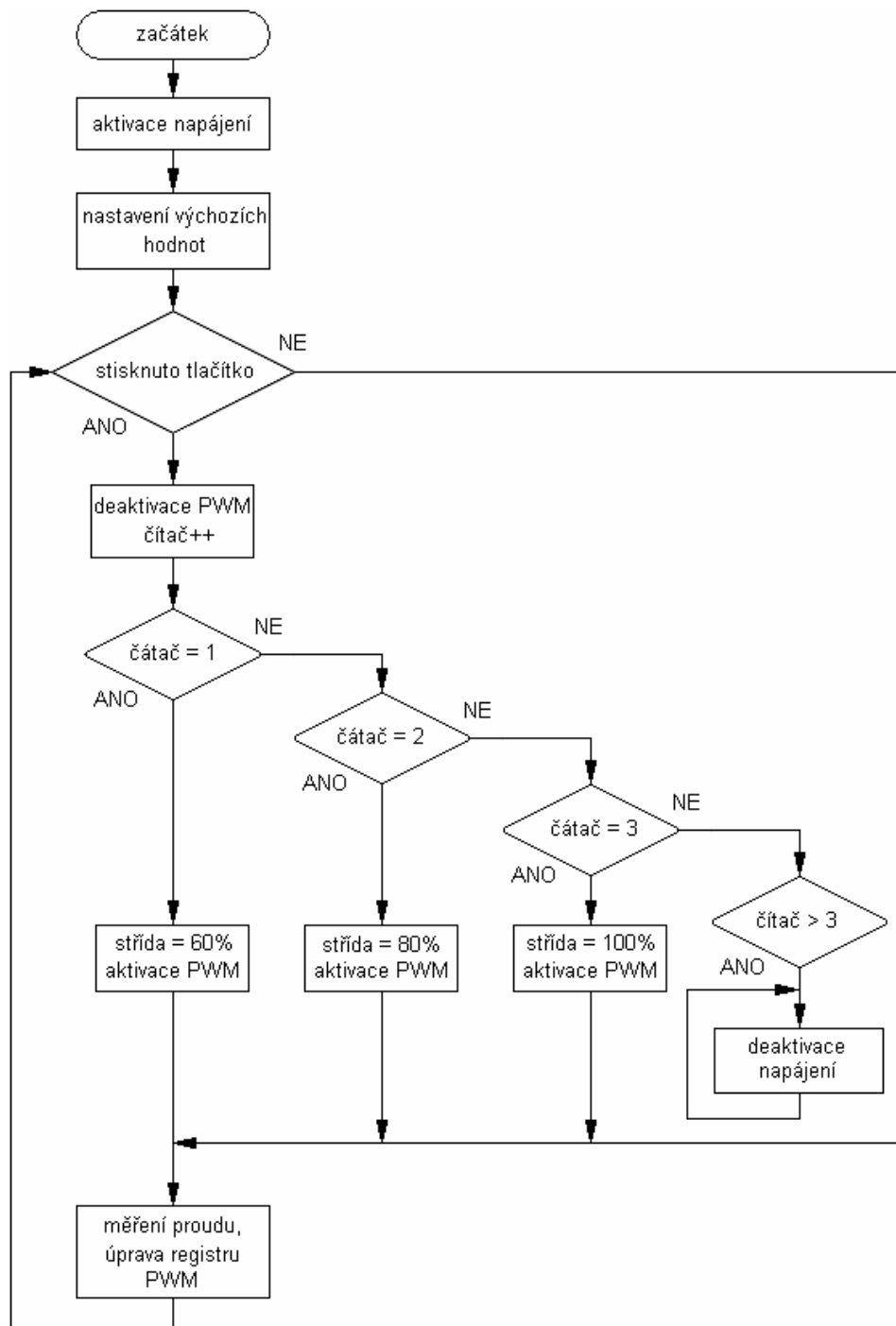


Obr. 3.5: Komplementární emitorový sledovač jako budič [5]

4 REALIZACE ZKUŠEBNÍHO VZORKU

4.1 Program mikrokontroléru

Pro program mikrokontroléru jsem sestavil následující vývojový diagram.



Obr. 4.1: Vývojový diagram programu mikrokontroléru

Navrhnutý program obsahuje dvě funkce, které se v hlavní programové smyčce opakovaně volají. Pro názornost zde tyto funkce vysvětlím, kompletní program včetně definice proměnných je obsažen na konci práce v příloze B. K napsání programu přispěl zdroj [3].

Testování stisknutého tlačítka

Funkce na základě testování stisku tlačítka přechází mezi jednotlivými stavy, ve kterých nastavuje porovnávací hodnotu pro generování pwm. K dispozici jsou 3 režimy nastavení výstupního proudu led diodou.

```
void test_tlacitka()
{
    if bit_is_set(PINB,1)                //Podmínka stisknutí tlačítka
    {
        TCCR0A = 0b00000000 ;           //Vypnutí generování pwm

        loop_until_bit_is_clear(PINB,1) ; //Nekonečná smyčka, která
                                           //probíhá dokud není tlačítko
                                           //uvolněno - inkrementace
                                           //proběhne pouze 1x

        stav++ ;                          //Navýšení stavové proměnné

        if (stav == 1)                    //Stav_1 bude navolen po
        {                                   //prvním stisknutí tlačítka

            OCR0A = 0 ;                    //Přímé vynulování porovnáva-
                                           //cího registru - střída se
                                           //bude po opětovné aktivaci
                                           //navyšovat od nuly

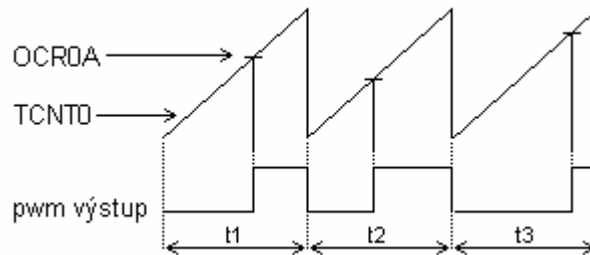
            PWM = 250 ;                     //Nastavení porovnávací pro-
                                           //měnné PWM

            TCCR0A = 0b10000011 ;          //Spuštění pwm generátoru
        }
        if (stav == 2)
        {
            OCR0A = 0 ;
            PWM = 600 ;
            TCCR0A = 0b10000011 ;
        }
        if (stav == 3)
        {
            OCR0A = 0 ;
            PWM = 995 ;
            TCCR0A = 0b10000011 ;
        }
        if (stav > 3)                       //Stav_3 - vypnutí obvodu
        {
            PORTB &= ~(1<<PORTB4) ;        //Odpojení napájení

            while (1)                        //Zacyklení programu
            { }
        }
    }
}
```

Měření napětí a korekce střídá

Pro názornost uvedu princip jakým generátor v v tomto případě vytváří výstupní pwm signál. Generátor obsahuje registr TCNT0, který opakovaně inkrementuje od 0 na hodnotu 255. Dále generátor obsahuje porovnávací registr – zde OCR0A. Pokud generátor při postupném inkrementování TCNT0 detekuje rovnost s hodnotou OCR0A, vyvolá přerušení a vygeneruje vzestupný, na základě nastavení i invertovaný sestupný, puls. Až hodnota v registru TCNT0 dosáhne hodnoty 255, dojde k jeho vynulování a čítání probíhá opět od hodnoty 0.



Obr. 4.2: Princip generování pulsně šířkově modulovaného signálu

Stisknutím tlačítka byla navolena hodnota proměnné PWM, jejíž velikost po přepočtení odpovídá protékajícímu proudu výkonovou led diodou. Funkce porovnává navolenou proměnnou PWM s výstupní hodnotou AČ převodníku, uloženou v registru ADC. Funkce na základě porovnání proměnných inkrementuje či dekrementuje hodnotu v registru OCR0A – tím je zajištěno udržení výstupního proudu na konstantní hodnotě.

```
void korekce_stridy()  
{  
    if(ADC < PWM)  
    {  
        OCR0A++ ;  
    }  
  
    if(ADC > PWM)  
    {  
        OCR0A-- ;  
    }  
}
```

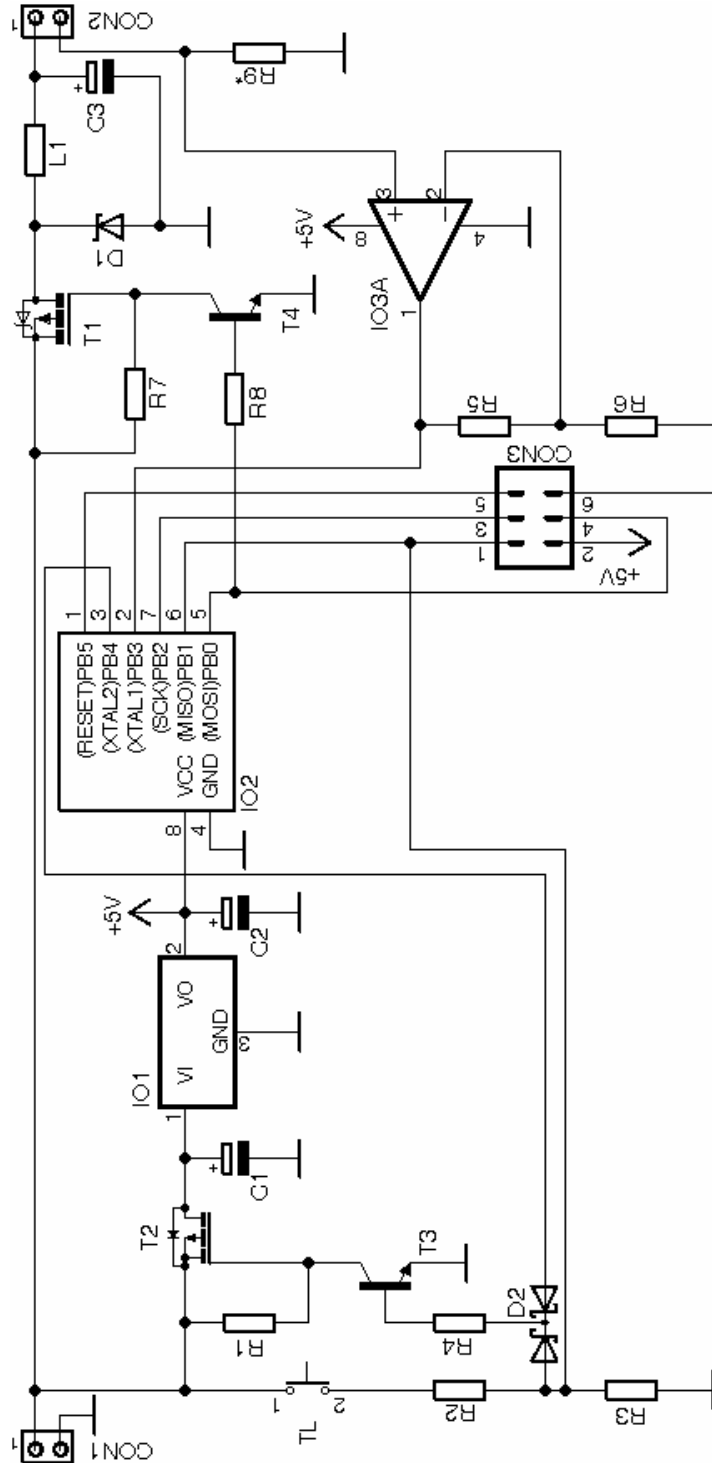
Hlavní programová smyčka tedy obsahuje postupné volání těchto dvou funkcí. Alternativou k této variantě by bylo volat funkci `korekce_stridy()` pomocí přerušení.

```
for (;;)   
{  
    test_tlacitka() ;  
  
    korekce_stridy() ;  
}
```

Kompletní zdrojový kód je uveden v příloze B na konci práce.

4.2 Kompletní obvodové schéma a návrh plošného spoje

Pro navrhované zařízení jsem sestavil kompletní obvodové schéma, které znázorňuje následující obrázek.

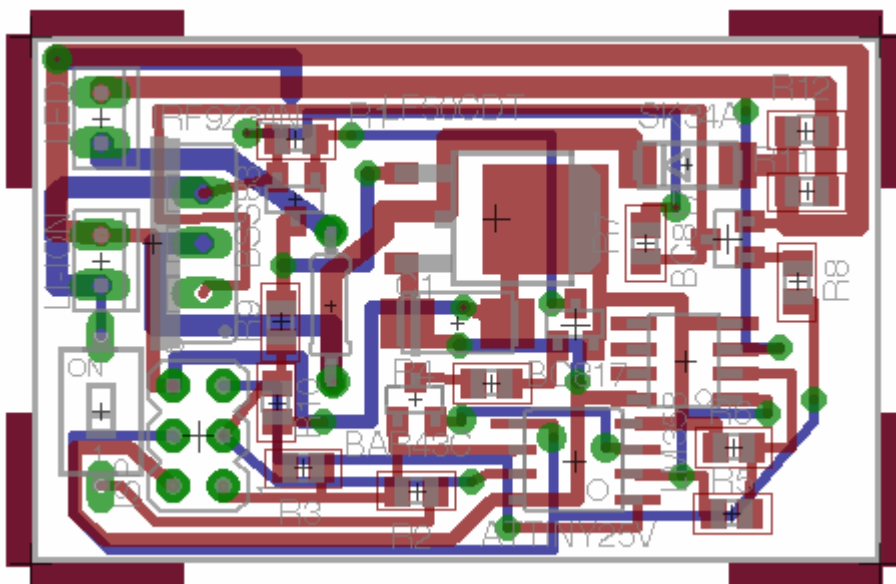


Obr. 4.3: Kompletní obvodové schéma

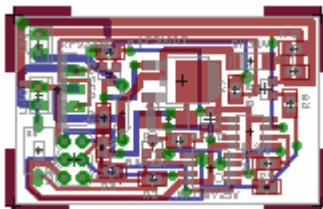
V obvodu jsou použity součástky, které byly zvoleny na základě výpočtů v kapitolách 2 a 3. Abych dosáhl co nejmenších rozměrů zařízení, rozhodl jsem se pro použití součástek pro povrchovou montáž – toto rozhodnutí jsem bral v úvahu již při samotném výběru součástek v předchozích kapitolách, proto je možné veškeré součástky v pouzdrech pro povrchovou montáž zakoupit.

Prakticky největší součástkou je cívka silového obvodu měniče, jejíž rozměry byly pro návrh desky plošného spoje rozhodující. Jedinou součástkou která není použita v SMD pouzdře je výkonový tranzistor IRF9Z34N, součástka je v pouzdře TO220AB, její umístění jsem zvolil vhodně k programovacímu portu ISP6. Velikost rezistorů jsem zvolil R0805 v toleranci 1%. Výrobce udává ztrátový výkon který může rezistor emitovat 250 mW, tento výkon není nikde v obvodu překročen – rezistory jsou tak plně dostačující. Bylo by možné použít ještě menší variantu rezistorů R0603, ale byl by problém s jejich ručním osazením. Celková soupiska všech použitých součástek je uvedena v příloze A této práce. Rezistory R5 a R6, zpětné vazby OZ, byly použity pro testování výkonové led diody SEOUL W11191.

Pro uvedené schéma, jsem navrhnul plošný spoj v návrhovém prostředí Eagle. Zdrojové soubory k návrhu jsou obsaženy na příloženém DVD.

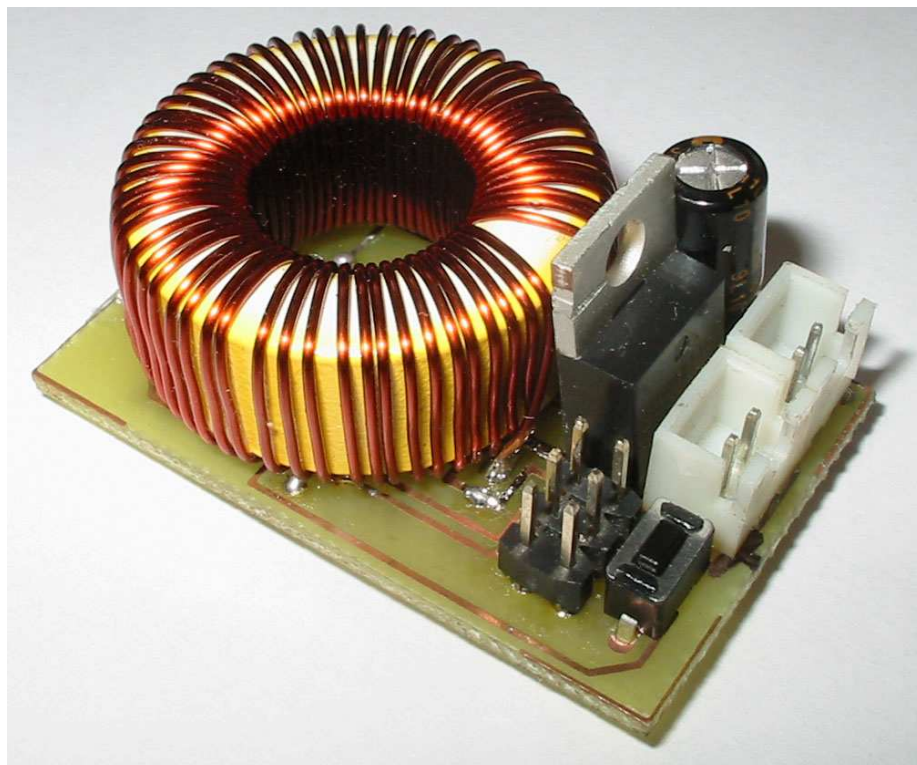


Obr. 4.4: Návrh desky plošného spoje – zvětšený

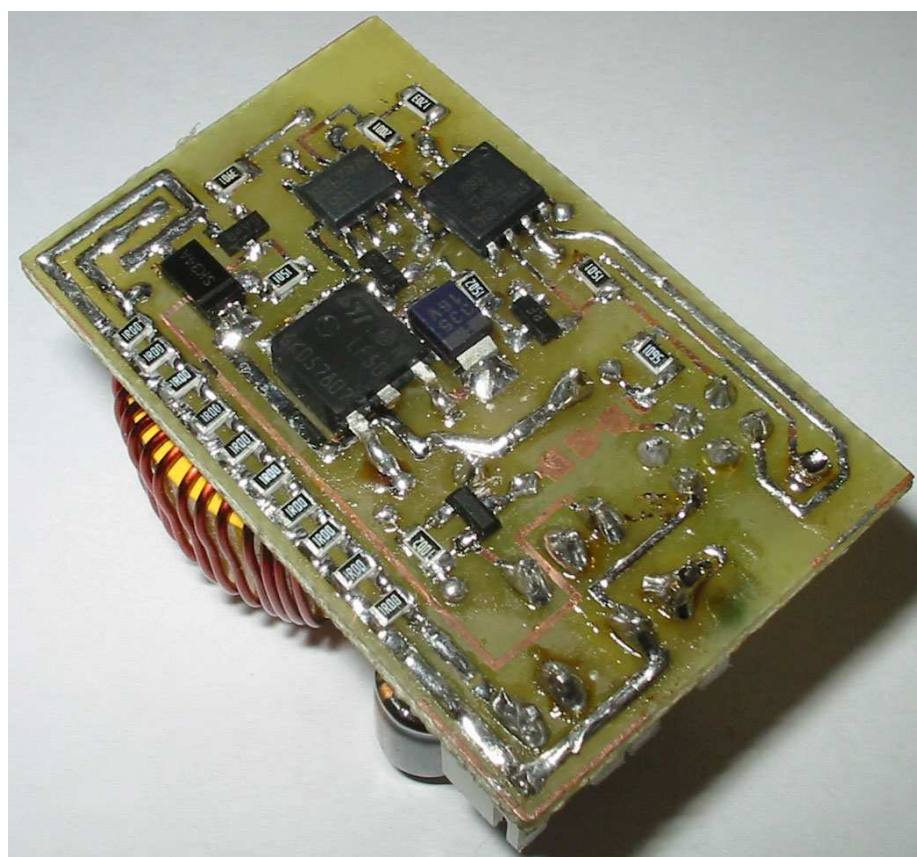


Obr. 4.5: Návrh desky plošného spoje – měřítko 1:1

Celkové rozměry osazeného zkušebního vzorku zařízení jsou (š-d-v) 23-43-18 mm.



Obr. 4.6: Osazený zkušební vzorek zařízení – horní pohled



Obr. 4.7: Osazený zkušební vzorek zařízení – spodní pohled

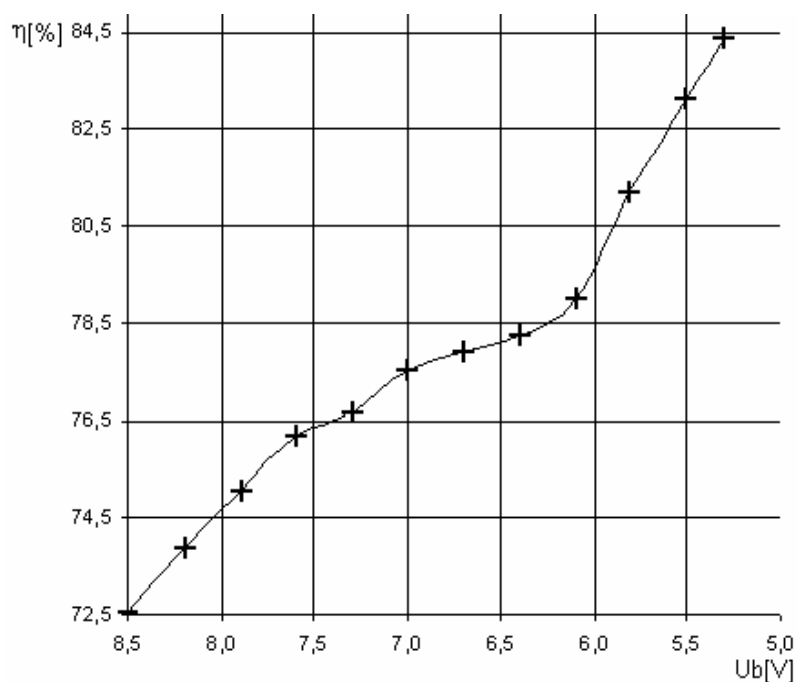
5 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI

Měření jsem provedl na sestaveném zkušební vzorku, který byl zatížen výkonovou led diodou SEOUL W11191. Výrobce stanovil absolutní maximální proud led diodou je 400 mA, provozní proud je doporučen na 350 mA až 400 mA. Z bezpečnostních důvodů jsem tedy použil proud 390 mA, dioda byla dále umístěna na chladič. Pro tento typ diody byly použity zpětnovazební rezistory OZ uvedené v tabulce 3.1.

Provedl jsem měření odebraného proudu a napětí na vstupní a výstupní části obvodu. Rozsah vstupního napětí pro měření jsem zvolil 8,5 V až 5,3 V. Z naměřených hodnot jsem vypočetl účinnost měniče a tu následně graficky zpracoval.

Tab. 5.1: Naměřené hodnoty při použití led SEOUL W11191 – zkrácená tabulka

U_{VSTUP} [V]	I_{VSTUP} [mA]	U_{LED} [V]	I_{LED} [mA]	Účinnost [%]
8,5	226	3,61	386	72,5
7,9	235	3,60	387	75,0
7,6	240	3,60	386	76,2
7,0	256	3,60	386	77,5
6,7	267	3,61	386	77,9
6,1	290	3,62	386	79,0
5,8	295	3,61	385	81,2
5,3	310	3,60	385	84,4



Obr. 5.1: Účinnosti zkušební vzorku pro led diodu SEOUL W11191

Kompletní tabulka naměřených hodnot je uvedena v příloze A. Na zkušebním vzorku ve vypnutém stavu byl změřen nulový klidový proud odebíraný ze zdroje. Navržený obvod může být tedy připojen k Li-Ion akumulátorům, aniž by došlo k jejich vybíjení vypnutým zařízením. Maximální odběr samotné řídicí elektroniky jsem změřil při maximálním výkonu měniče 8,21 mA. Tento odběr se tedy vešel do mnou uvažovaného maximálního odběru 10 mA.

Pro testování bateriového provozu jsem použil Li-Ion akumulátory se jmenovitým napětím 3,7 V a kapacitou 1900 mAh. Změřené napětí naprázdno při plně nabitých akumulátorech spojených do série je 8,31 V, typové označení akumulátorů je BA20203R69900. Akumulátory v sobě zahrnují i ochranný obvod, který je odpojí od zátěže, dojde-li k vybití akumulátorů pod výrobcem stanovenou mez. Zařízení jsem ponechal připojené na akumulátory v zapnutém stavu a průběžně jsem sledoval výstupní proud. Hodnotu výstupního proudu jsem změřil 386 ± 1 mA po celou dobu chodu zařízení, dokud nedošlo k zareagování ochranných obvodů v akumulátorech.

Použité měřicí přístroje:

regulovatelný zdroj Diametral P230R51D
číslicový multimetr AGILENT 34410A
číslicový multimetr..... Metex MXD-4660

6 ZÁVĚR

V práci jsem provedl rozbor navrhovaného snižujícího DC/DC měniče, na jehož základě jsem navrhnul řešení jednotlivých obvodových částí. Sestavil jsem kompletní obvodové schéma a provedl jsem potřebné výpočty, na jejichž základě jsem zvolil součástky. Dále jsem provedl výběr vhodného nabíjecího obvodu pro Li-Ion akumulátory. Obvod měniče jsem navrhnul a zkonstruoval na maximální zatěžovací proud výkonovou led diodou 1 A.

Pro zvolený mikrokontrolér ATtiny25, jsem vytvořil návrh programu, který jsem následně napsal v programovacím jazyce C. Program jsem pro danou aplikaci odladil.

Provedl jsem návrh desky plošného spoje v programu Eagle. Plošný spoj jsem nechal vyrobiť a osadil jsem jej v laboratoři vybranými součástkami. Sestavené zařízení má poměrně malé rozměry š-d-v 23-43-18 mm. Osazený zkušební vzorek jsem v laboratoři uvedl do chodu, provedl jsem naprogramování mikrokontroléru a zařízení otestoval. Navrhnuté zařízení může pracovat ve třech výkonnostních režimech, činnost zařízení je ovládána stisknutím tlačítka. Obvod obsahuje programovací rozhraní ISP6.

Pro závěrečné měření účinnosti měniče byla použita led dioda o výkonu 1,6 W, přes kterou může protékat proud o maximální velikosti 400 mA. Pro použití této led diody jsem upravil program mikrokontroléru. Měnič jsem proměřil v rozsahu napájecího napětí 8,5 V až 5,3 V a vypočetl účinnost. Maximální hodnota odebíraného proudu samotné řídicí elektroniky byla změřena 8,21 mA. Dále jsem úspěšně otestoval funkčnost měniče při napájení ze dvou Li-Ion akumulátorů. Měřením jsem potvrdil, že navrhnuté zařízení neodebírání z akumulátorů proud ve vypnutém stavu.

Při maximálním napájecím napětí byla účinnost měniče nejnižší a to 73%. Účinnost se s poklesem napájecího napětí téměř přímo úměrně zvyšovala a to až na hodnotu 82% při nejnižším napájecím napětí 5,5 V. V odborné literatuře [2] je uvedena účinnost pro běžné spínané zdroje 70% až 80%. Sestavený spínaný zdroj tedy spadá do této kategorie. Účinnost zařízení by bylo možné dále zvýšit volbou spínacího tranzistoru s menší hodnotou odporu v otevřeném stavu nebo použitím některého typu aktivního budiče unipolárního tranzistoru.

LITERATURA

- [1] BELZA, Jaroslav. Akumulátory Li-Ion a jejich nabíjení. Amatérské rádio, 2001, roč. 6, č 4, s12. ISSN 1211-328X.
- [2] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje 1. díl, BEN, 2002. ISBN 80-86056-02-3
- [3] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR – Atmega16, BEN, 2006
- [4] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., POTOČKA, M. Napájení elektronických zařízení, Skripta FEI VUT v Brně, 2004.
- [5] STENGL, Jeans Peer; TIHANYI, Jenó. Výkonové tranzistory MOSFET. 1. české vydání. Praha : BEN, 1999. 192 s. ISBN 80-86056-54-6.

Použité katalogové listy:

- [6] ATMEL ATtiny25/45/85V
Online: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2586.pdf
- [7] INTERNATIONAL RECTIFIER IRF9Z34N
Online: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/irf9z34n.pdf>
- [8] MICROSEMI SK34A
Online: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/microsemi/sk32a.pdf>
- [9] ST Microelectronics LF50CDT
Online: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/0/00ciacs9p08x8trdlw1u0ap1z9yy.pdf>
- [10] PHILIPS BSS83
Online: http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/BSS83_CNV_2.pdf
- [11] Fairchild Semiconductor BAR43C
Online: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/BAR43C.pdf>
- [12] PHILIPS LM358
Online: http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/LMX58_A_2904_XX532_4.pdf
- [13] BARKHORDARIAN, V. Power MOSFET Basics
Online: <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/mosfet.pdf>
- [14] MAXIM - Dallas Semiconductor ICL7667
Online: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets2/14/147008_1.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AČ	převodník analog číslo
LED	Light Emitting Diode
Li-Ion	Lithium-Iontové
OZ	operační zesilovač
pmos	p-channel mosfet
pwm	Pulse Width Modulation
TTL	Transistor Transistor Logic

A PŘÍLOHA

Tab. A.1: Soupiska použitých součástek pro sestavení zkušební vzorku

součástka	hodnota	typ	pouzdro	kusy
R1	10K		R0805	1
R2	5K6		R0805	1
R3	1K5		R0805	1
R4	15K		R0805	1
R5	56K		R0805	1
R6	2K		R0805	1
R7	910R		R0805	1
R8	3K9		R0805	1
R9	1R		R0805	10
C1	0,1uF		C/6032-28R	1
C2	3,3uF		C/6032-28R	1
C3	33uF/16V	Hitano 33uF/16V LowESR		1
T1		IRF9Z34N	TO220AB	1
T2		BSS83P	SOT23	1
T3		BC817-16	SOT23	1
T4		BC817-16	SOT23	1
D1		SK34A	DO214AA	1
D2		BAR43C	SOT23	1
L1	220uH	DPU220A3		1
IO1		LF50CDT	TO252	1
IO2		ATtiny25-20SU	SOIC8	1
IO3		LM358	SO08	1
SW		P-DT2112C	SD401	1
CON1		PSH04-02W	10X02MTA	1
CON2		PSH04-02W	10X02MTA	1
CON3		S2G20		1

Tab. A.2: Naměřené hodnoty při použití led SEOUL W11191 – kompletní tabulka

U_{VSTUP}	I_{VSTUP}	U_{LED}	I_{LED}	Účinnost
[V]	[mA]	[V]	[mA]	[%]
8,5	226	3,61	386	72,5
8,2	230	3,61	386	73,9
7,9	235	3,60	387	75,0
7,6	240	3,60	386	76,2
7,3	249	3,60	387	76,6
7,0	256	3,60	386	77,5
6,7	267	3,61	386	77,9
6,4	279	3,61	387	78,2
6,1	290	3,62	386	79,0
5,8	295	3,61	385	81,2
5,5	304	3,61	385	83,1
5,3	310	3,60	385	84,4

B PŘÍLOHA

```
#include <avr/io.h>
    unsigned int  PWM = 0 ;
    unsigned char stav = 0 ;

void korekce_stridy()
{
    if(ADC < PWM)
    {
        OCR0A++ ;
    }

    if(ADC > PWM)
    {
        OCR0A-- ;
    }
}

void test_tlacitka()
{
    if bit_is_set(PINB,1)
    {
        TCCR0A = 0b00000000 ;
        loop_until_bit_is_clear(PINB,1) ;
        stav++ ;

        if (stav == 1)
        {
            OCR0A = 0 ;
            PWM = 250 ;
            TCCR0A = 0b10000011 ;    //FastPWM
        }

        if (stav == 2)
        {
            OCR0A = 0 ;
            PWM = 600 ;
            TCCR0A = 0b10000011 ;
        }

        if (stav == 3)
        {
            OCR0A = 0 ;
            PWM = 882 ;                //Proud 390mA
            TCCR0A = 0b10000011 ;
        }

        if (stav > 3)
        {
            PORTB &= ~(1<<PORTB4) ;
            while (1)
            {
            }
        }
    }
}
```

```

int main(void)
{
    DDRB |= (1<<DDB4) ;           // PB4 = vystup OVLADANI NAPAJENI
    PORTB |= (1<<PORTB4) ;        // Nastavi na pinu B4 LOG1
    DDRB |= (1<<DDB0) ;           // PB0 = vystup PWM OCOA
    DDRB &= ~(1<<DDB1) ;          // PB1 = vstup TLACITKO
    OCR0A = 0 ;
    TCCR0B = _BV(CS00) ;          // aktivovani citace

    ADMUX = 0b10010011 ;          // Meri na PB3
    ADCSRA = 0b11100001 ;

    for (;;)
    {
        test_tlacitka() ;
        korekce_stridy() ;
    }
}

```