

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MODUL PRO ŘÍZENOU STIMULACI

MODUL FOR ELECTRICAL STIMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

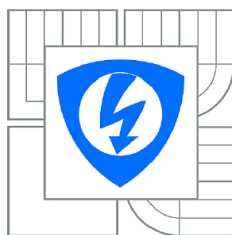
LIBOR LAHODNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL BUBNÍK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Elektronika a sdělovací technika

Student: Libor Lahodný

Ročník: 3

ID: 146048

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Modul pro řízenou stimulaci

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte teorii DC/DC měničů a navrhnete zapojení stimulatoru, který bude možno řídit pomocí PC rozhraní. Stimulátor musí umožňovat změnu výstupního napětí, proudu, šířky impulsu a opakovací frekvence. Stimulátor musí být chráněn proti přetížení výstupu. Navržený stimulátor realizujte. Navrhnete jednoduchou PC aplikaci tak, aby umožňovala nastavovat všechny parametry stimulatoru v reálném čase. Funkci stimulatoru detailně ověřte na experimentu s umělou zátěží.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KREJČÍK, A. DC/DC měniče: Praktické zapojení DC/DC měničů, Praha: BEN, 2002.

[2] KAINKA, B., BERNDT, J. PC Interfaces under Windows, England: Elektor Electronics, 2001.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Karel Bubník

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a sestrojením stimulatoru řízeného pomocí počítačového rozhraní USB. V teoretickém úvodu je rozebírána problematika DC/DC měničů a jejich možné varianty. V další části úvodu jsou popsány součástky použité ve stimulatoru a vývojový kit Arduino, pomocí kterého je dále stimulator řízený.

Tento stimulator umožňuje změnu napětí, proudu, frekvence a šířky pulzů. Ochrana proti přetížení je realizována pomocí elektronické pojistky a softwarově.

KLÍČOVÁ SLOVA

DC/DC měnič, Arduino, Stimulátor, MC34063

ABSTRACT

Bachelor's thesis is concerned with the concept and building of the stimulator which is controlled using a computer USB port. The introduction discussed the issue of DC/DC converters and their possible variations. In the next section of the introduction describes the components used in the stimulator and the Arduino development kit whereby the further stimulator is controlled.

This stimulator makes possible to change voltage, current, frequency and pulse width. Overload protection is realized with the aid of electronic fuse and using software.

KEYWORDS

DC/DC converter, Arduino, Stimulator, MC34063

LAHODNÝ, L. Modul pro řízenou stimulaci. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2014. 42 s., 5 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Karel Bubník

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Modul pro řízenou stimulaci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Bubníkovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vii
Úvod	1
1 Teoretický úvod	2
1.1 Úvod k měničům.....	2
1.1.1 Obecné rozdělení	2
1.1.2 DC/DC měniče.....	2
1.1.3 Základní parametry	4
1.1.4 Měniče s lineárními prvky	4
1.1.5 Měniče se spínanými kondenzátory.....	4
1.1.6 Měniče s cívkami	5
1.1.7 Obvod MC34063	5
1.2 Stabilizátor LM317	7
1.3 Sériové rozhraní USB	8
1.4 Vývojový kit arduino	9
1.4.1 Arduino	9
1.4.2 Arduino Mega 2560	9
1.4.3 Software	10
2 Návrh stimulátoru	12
2.1 Požadavky na stimulátor	12
2.2 Obecné blokové schéma	12
2.3 Napájení zařízení	13
2.4 Mikrokontrolér.....	13
2.5 DC/DC měnič	14
2.6 Regulace parametrů	16
2.7 Zpětná vazba	18
2.7.1 Měření napětí	18
2.7.2 Měření proudu.....	18
2.7.3 Ochrana proti přetížení	19
3 Software zařízení	21

3.1	Obslužný software	21
3.1.1	Popis sériové komunikace	22
3.2	Zdrojový kód mikroprocesoru	23
4	Realizace Stimulátoru	25
4.1	Návrh DPS a osazení	25
4.2	Konstrukční provedení.....	26
4.3	Měření přípravku	27
4.4	Parametry stimulátoru	28
5	Závěr	29
	Literatura	30
	Seznam příloh	31

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Snižující měnič	3
Obr. 1.2: Invertující měnič.....	3
Obr. 1.3: Základní zapojení zvyšujícího měniče s cívkou	5
Obr. 1.4: Pouzdro a blokové schéma obvodu MC34063(převzato z [7])	6
Obr. 1.5: Příklad zapojení MC34063 (převzato z [7])	7
Obr. 1.6: Nejjednodušší zapojení stabilizátoru LM317 (Převzato z [8])	8
Obr. 1.7: Typy USB konektorů (převzato z [9])	9
Obr. 1.8: Vývojový kit Arduino ATmega 2560 (převzato z [2])	10
Obr. 1.9: Vývojové prostředí Arduino 1.0 (převzato z [2])	11
Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení	13
Obr. 2.2: Typické operační průběhy obvodu MC34063 (převzato z [7])	14
Obr. 2.3: Schématické zapojení měniče.....	15
Obr. 2.4: Simulace zapojení DC/DC měniče pro vstupní napětí 5 V	16
Obr. 2.5: Obvod pro řízení výstupních parametrů	17
Obr. 2.6: Průběhy napětí a proudů při spínání tranzistorů	17
Obr. 2.7: Princip záporné zpětné vazby	18
Obr. 2.8 : Obvod pro měření napětí a proudu	19
Obr. 2.9: Vratná pojistka Schurter PFRA (převzato z [10])	20
Obr. 3.1: Interface počítačového programu	22
Obr. 3.2: Vývojový diagram zdrojového kódu	24
Obr. 4.1: Osazená deska stimulátoru	25
Obr. 4.2: Pohled do osazeného přístroje	26
Obr. 4.3: Přístroj z čelní (vlevo) a zadní (vpravo) strany	26
Obr. 4.4: Průběhy napětí na zátěži	27
Obr. 4.5: Průběhy napětí na zátěži 2	27

ÚVOD

První důkazy souvislosti elektrických impulzů a svalů poskytl Luigi Galvani v roce 1791. Během 19. a 20. století vědci analyzovali elektrické vlastnosti podmiňující svalový pohyb. V 60. letech 20. století SSSR začal využívat elektrostimulaci k lepším výkonům u sportovců.

Elektrostimulátory vysílají elektrické impulsy do míst, odkud sval dostává impuls k pohybu, za účelem vyvolávání svalové kontrakce, stejně jako při normálním pohybu vyvolaném na základě požadavku vyslaného z mozku. Tyto impulsy využívají účinků pulzních proudů. Ty pomáhají prokrvovat tkáň, uvolnit napětí ve svalech nebo zvyšovat sílu svalů a pomáhají při bolestech a zánětech.

V dnešní době je na trhu spousta elektrostimulátorů. Existují dva hlavní druhy, přenosné a pevné stolní. Tyto stimulátory umožňují změny mnoha parametrů. Mezi nejdůležitější patří změna intenzity stimulace, délka impulzů a frekvence, se kterou se budou opakovat stimulační impulzy.

1 TEORETICKÝ ÚVOD

1.1 Úvod k měničům

1.1.1 Obecné rozdělení

Měniče jsou obecně obvody, které mění vstupní napětí dle potřeby pro další aplikace. Jejich nejzákladnější rozdělení je následující:

- AC/AC měniče - Mění střídavé napětí na střídavé napětí s jinými parametry, tedy s jinou amplitudou, častěji se však používají jako frekvenční měniče v silnoproudé technice
- AC/DC měniče - Tyto měniče se obecně nazývají usměrňovače, jelikož převádí střídavé vstupní napětí na proud na stejnosměrné výstupní napětí a proud
- DC/AC měniče – Převádí stejnosměrné napětí na střídavé, je v nich tudíž nutno použít obvod, který vstupní napětí rozkmitá, to se dále upraví např. přes transformátor na požadované výstupní napětí
- DC/DC měniče - Stejnosměrný měnič, mění stejnosměrné napětí na výstupní napětí o jiné velikosti, tyto budou podrobněji rozebrány v následujících odstavcích

1.1.2 DC/DC měniče

Měnič DC/DC je obecně obvod, který zvyšuje nebo snižuje vstupní napětí. Pro spínání se používají tranzistory a diody, jako zásobníky energie. Při převodu se používají cívky a kondenzátory. Pro galvanické oddělení se používají pulsní transformátory.

Prvním a zřejmě zásadním hlediskem pro rozdělení DC/DC měničů je výstupní výkon, který určuje do značné míry konstrukci měniče:

- Měniče s výstupním výkonem do 10 W, jsou obvykle konstruovány jako hybridní obvody, určené pro montáž na plošné spoje v plastových nebo i kovových pouzdrech. Omezení jejich výkonu je dáno jejich účinností.
- Měniče s výstupním výkonem do cca 300 W, jsou konstruovány buď jako osazené desky se součástkami a chladiči, nebo jako samostatné přístroje ve skříňce, ty je nutné zpravidla chladit například ventilátorem. Princip činnosti je podobný měničům do 10 W
- Měniče s výstupními výkony stovek wattů až jednotek kilowattů, ty jsou již stavěny jako samostatné skříňové jednotky a užívají se zejména jako napájecí jednotky stejnosměrných motorů v automatizaci výroby nebo galvanizovnách.

Vezmeme-li v úvahu první skupinu, tedy měniče do výkonu 10 W, které je možno považovat za samostatné součástky, pak je možno je dělit podle kritéria principu následovně.

- Měniče obsahující pouze lineární obvody, tedy lineární stabilizátory a to parametrické i zpětnovazební monolitické. Základní vlastností této skupiny

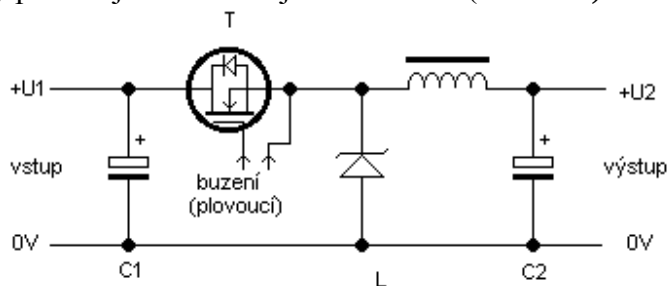
měníčů je možnost pouze snižovat vstupní napětí na nižší hodnotu napětí výstupního. Mají malou účinnost a jsou galvanicky spojeny s výstupem.

- Měníče bez indukčnosti, tedy měniče se spínanými kondenzátory, určené pro odběr malých proudů. Obvykle mají monolitické integrované obvody v kombinaci s dalšími pasivními součástkami. Používají se obvykle pro dvojnásobení a inverzi vstupního napětí, mohou generovat i několik výstupních napětí najednou.
- Měníče s cívkami, vycházející z klasických zapojení spínaných zdrojů, dosahují vysokých účinností, při možnostech zvyšovat, snižovat nebo invertovat vstupní napětí. Jejich výstup je vždy galvanicky spojen se vstupem. Do této skupiny patří i měniče s cívkou, která má odbočku (autotransformátor).
- Měníče s transformátory. Mají vždy galvanicky izolovaný výstup od vstupu a to na zkušební napětí až jednotek kilovoltů. Vyznačují se velkým množstvím kombinací výstupního napětí. Patří mezi nejčastěji vyráběné.

Posledním důležitým rozdělením DC/DC měničů, je podle směru změny napětí, do následujících třech skupin

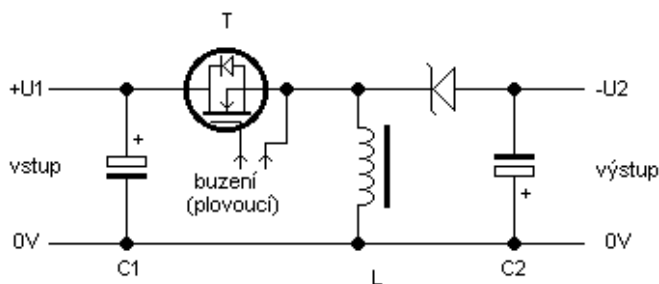
- Snižující měnič - Vstupní napětí je větší než výstupní. Vstupní a výstupní napětí je stejné polarity. Je to tedy snižující neinvertující měnič též nazývaný jako step – down, buck nebo též propustný měnič. Proud může téct oběma směry, pokud to umožňuje zátěž.

Jednoduchý příklad je na následujícím obrázku (Obr. 1.1)



Obr. 1.1: Snižující měnič

- Zvyšující měnič - Výstupní napětí tedy bude vyšší než vstupní se stejnou polaritou. Jde tedy o zvyšující měnič neinvertující, jinak nazývaný step – up nebo boost.
- Invertující měnič - Toto zapojení umožňuje jak zvyšovat, tak snižovat napájecí napětí. Dochází však u něj k převrácení polarity napětí. Jeho označení jsou invertující měnič, buck – boost, měnič se společnou tlumivkou nebo blokující měnič



Obr. 1.2: Invertující měnič

1.1.3 Základní parametry

Tato kapitola obsahuje pouze nepatrný výčet z nejdůležitějších parametrů udávaných v katalogových listech pro obecné měniče, spoustu dalších lze nalézt v literatuře [1].

Mezi vstupní parametry se řadí účinnost [1], ta je definována jako poměr výstupního výkonu P_{out} a vstupního příkonu P_{in} . Udává se jako jedna hodnota a je měřena při jmenovité hodnotě zátěže měniče a jmenovité hodnotě vstupního napětí. Pohybuje se v rozmezí 60 – 90%:

$$\eta = P_{out} \cdot 100/P_{in} \quad (1.1)$$

Dalším parametrem je vstupní napěťový rozsah, který udává rozmezí mezi minimálním a maximálním vstupním napětím při kterém měnič pracuje podle jeho specifikací v katalogovém listě. Měnič však často může pracovat i vně tohoto rozsahu, avšak při nižším napětí na vstupu může dojít k proudovému přetížení součástek měniče. Naopak při vysokém napětí může dojít k napěťovému poškození.

Vstupní proud je jmenovitá hodnota vstupního proudu, která do měniče vtéká při jmenovité hodnotě vstupního napětí při plném zatížení výstupu měniče proudem.

Maximální hodnota vstupního přepětí je hodnota napětí, která může být na vstup měniče přiložena, aniž dojde k jeho poškození. Doba tohoto přiloženého napětí bývá 100ms.

Hodnota základního kmitočtu, na kterém měnič pracuje, se nazývá spínací kmitočet. U zapojení typu push-pull je generovaný šum na dvojnásobku řídicího kmitočtu.

Výstupní napětí je nominální hodnota výstupního napětí při nominální hodnotě vstupního napětí a nominální hodnotě zatěžovacího proudu.

1.1.4 Měniče s lineárními prvky

Používají se tam, kde je malý rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím. Jejich účinnost je relativně malá. Ze vztahu [1] lze vypočítat při vstupním napětí 5V a požadovaném výstupním napětí 3,3V dosažení účinnosti 66%.

Zásadním problémem je, že nemohou zvyšovat výstupní napětí oproti vstupnímu napětí, stejně jako nelze invertovat polarity napětí vzhledem ke společnému vodiči. Tyto měniče jsou konstrukčně jednoduché, mají nízký výstupní šum a jednoduchou regulaci výstupních napětí.

1.1.5 Měniče se spínanými kondenzátory

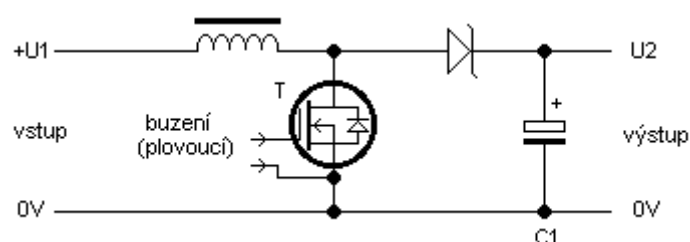
Tyto měniče se označují často jako nábojové pumpy, jsou levné, jednoduché a vhodné pro aplikace vyžadující malý výkon. Jsou snadno použitelné, protože nevyžadují žádné drahé cívky nebo transformátory. Používají keramické nebo elektrolytické kondenzátory pro uskladnění a následný převod zdrojové energie. Nevýhodou kondenzátorů je nemožnost okamžité hodnoty napětí. Napětí kondenzátoru klesá (resp. stoupá) exponenciální funkcí, to lze řešit indukčními měniči, avšak za vyšší cenu.

Konverze napětí je dosaženo periodickým spínáním kondenzátorů. Je nutno použít spínací obvody, které napřed nabijí kondenzátor jeho připojením ke zdroji napětí a

následně ho přepnou k výstupu zdroje v takovém zapojení kdy je dosaženo vyššího. (resp. nižšího napětí)

1.1.6 Měniče s cívkami

Zapojení na Obr. 1.3 je základní ukázkou zvyšujícího měniče, kde je energie akumulována v magnetickém poli cívky. Při sepnutém tranzistoru Q1 je energie ze zdroje postupně akumulována v magnetickém poli cívky a cívka se tak chová jako spotřebič. Při rozepnutí tranzistoru Q1 proud protéká ze zdroje o vstupním napětí U_{IN} a z cívky L1 do zátěže. Cívka se chová jako zdroj spojený do série se zdrojem napájecího napětí. Dioda D1 zde zabráňuje vybíjení kondenzátoru C1 přes Q1 v případě že je Q1 sepnut. Při sepnutém tranzistoru je tedy do zátěže dodáván pouze proud z kondenzátoru C1, ten se tak vybíjí a jeho proud klesá stejně jako napětí na něm a na zátěži R_Z .



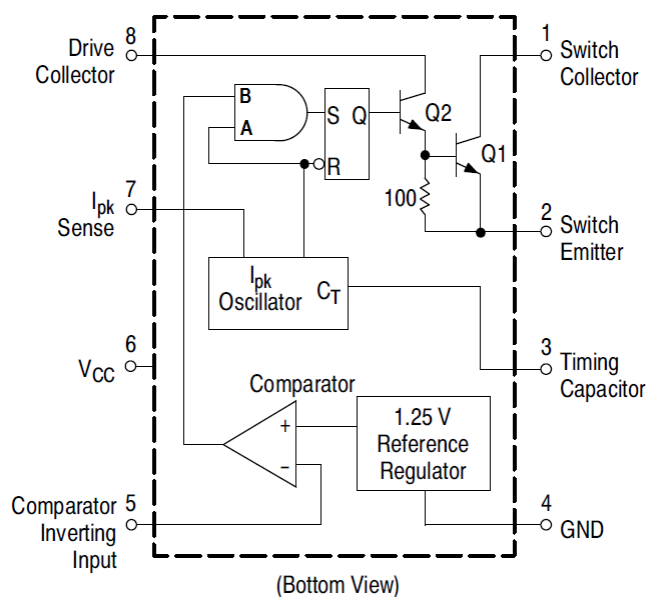
Obr. 1.3: Základní zapojení zvyšujícího měniče s cívkou

1.1.7 Obvod MC34063

Jedná se o monolitický integrovaný obvod používaný především pro DC/DC měniče s topologií boost, buck a inverting. Obsahuje teplotně stálou napěťovou referenci, komparátor, oscilátor s proměnnou střídou a s aktivním omezením proudu a výstupní výkonový stupeň. Jeho napájecí napětí musí být v rozmezí 3-40 V a proud výstupním spínačem musí být menší než 1.5 A.

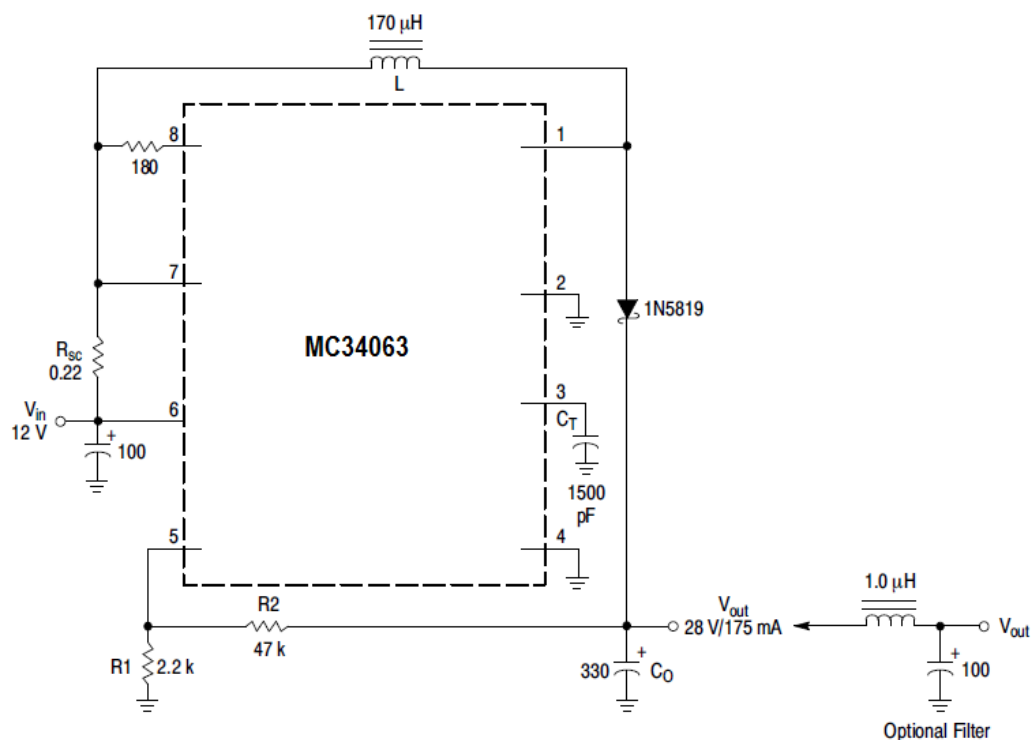
Zjednodušené vnitřní zapojení je zobrazeno na Obr. 1.4, zde zobrazený oscilátor se skládá ze zdroje proudu a dolního spínače, které nabíjejí a vybíjejí vnější časovací kondenzátor C_T mezi horním a dolním prahem. Typické nabíjecí a vybíjecí proudy jsou 35 μA respektive 200 μA . Jejich poměr je kolem 1:6. Doba potřebná k nabíjení kondenzátoru C_T je 6-krát delší, než je doba vybíjení. Horní práh je roven vnitřnímu referenčnímu napětí 1,25 V a dolní práh přibližně 0,75 V. Oscilátor běží nepřetržitě s frekvencí odpovídající zvolené hodnotě C_T . Během periody, kdy se kondenzátor nabíjí, je na vstupu A součinnového hradla log. 1. Když výstupní napětí spínaného regulátoru je pod jmenovitou hodnotou, log. 1 je také na vstupu hradla B. Za těchto podmínek je výstup Q v logické jedničce a sepne výstupní tranzistor Q1. Když oscilátor dosáhne horní úrovně, C_T se začne vybíjet a na vstupu hradla A se objeví log. 0. Tato log. úroveň také vynuluje klopný obvod a výstupní tranzistor zavře. Napětí se stabilizuje na nastavené hodnotě. Výstupní napětí lze vypočítat pomocí vztahu [2].

$$|U_{OUT}| = 1.25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (1.2)$$



Obr. 1.4: Pouzdro a blokové schéma obvodu MC34063 (převzato z [7])

Příklad zapojení i s vnějšími součástkami je na Obr. 1.5. Proudového omezení je dosaženo monitorováním úbytku napětí na vnějším odporu R_{SC} , zapojeném v sérii s napětím V_{CC} a výstupním spínačem. Toto napětí je sledováno pinem I_{pk} Sense. Když toto napětí překročí hodnotu 330 mV, obvod pro omezení proudu vytvoří další cestu proudu pro nabíjení časovacího kondenzátoru C_T . To způsobí rychlého dosažení horního prahu oscilátoru, čímž se zkrátí doba sepnutí výstupního tranzistoru a omezí se množství energie uložené v cívce. Toto může být pozorováno jako zvýšení strmosti křivky napětí na kondenzátoru C_T . Činnost spínacího regulátoru při přetížení způsobí velmi krátkou, ale konečnou dobu sepnutí výstupu, po níž následuje buď normální, nebo prodloužený interval vypnutí způsobený oscilátorem. Rozšíření intervalu vypnutí výstupu je výsledkem nabíjení C_T nad horní práh působením proudového omezení.



Obr. 1.5: Příklad zapojení MC34063 (převzato z [7])

1.2 Stabilizátor LM317

Jedná se o integrovaný obvod, s možností nastavení velikosti výstupního napětí. Obvod byl vyvinut v roce 1970 pro National Semiconductor. Jeho alternativy jsou LM117 a LM217. Jedná se o tři svorkovou součástku obsahující svorky pro vstup, výstup a pro nastavení výstupního napětí, tzv. adjust.

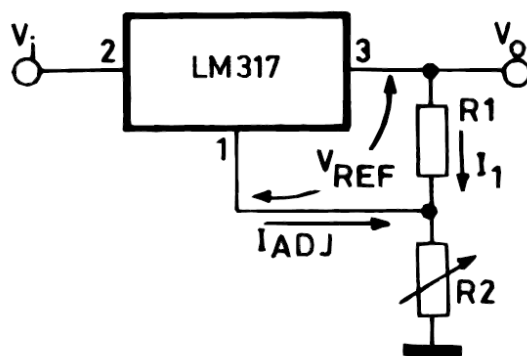
Prodává ve dvou variantách, s pouzdem TO220 a pouzdem TO92. Hlavním rozdílem mezi těmito variantami je v maximálním výstupním proudu. První z nich má maximální proud 1,5 A a druhý 0,1 A. Obvod má vnitřní ochranu proti proudovému přetížení. Při přetížení, resp. zkratu omezí proud na výstupu a sníží výstupní napětí na 1,25V [8].

Výstupní napětí je nastavitelné v rozsahu 1,25 V až 37 V, přičemž rozdíl mezi vstupním napětím a výstupním napětím nesmí překročit 40 V, ale současně nesmí být menší než 3 V. To znamená, že bude-li vstupní napětí např. 24 V, dá se výstupní napětí regulovat v rozsahu 1,25 V až 21 V. Pokud bude vstupní napětí 40 V, lze výstupní napětí regulovat od 1,25 V do 37 V.

Nejjednodušší zapojení tohoto obvodu je na Obr. 1.6, k nastavení požadované hodnoty napětí na výstupu zde slouží dělič složený ze dvou rezistorů - R1 a R2.

Rezistor R1 má mít dle doporučení výrobce 240 - 400 Ω . Hodnotu rezistoru R2 lze vypočítat dle vztahu [3], kde proud I_{ADJ} se pohybuje kolem 0,1mA. Obvod lze dále využít i jako stabilizátor proudu, přičemž velikost proudu závisí na rezistoru zapojeném do série s výstupem obvodu, takto může sloužit jako nabíječka akumulátorů s konstantním proudem

$$V_o = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + I_{ADJ} \cdot R_1 \quad (1.3)$$



Obr. 1.6: Nejjednodušší zapojení stabilizátoru LM317 (Převzato z [8])

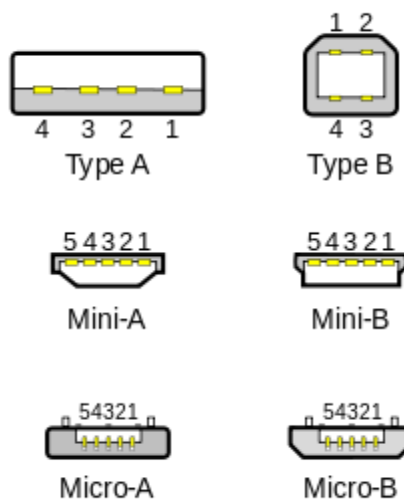
1.3 Sériové rozhraní USB

Toto rozhraní nahrazuje starší sériový port RS232. Používá se jak pro běžné druhy periférií (tiskárny, myši, klávesnice, joysticky), ale i pro přenos dat z externích pevných disků, videokamer a jiných, těchto zařízení je možno napojit až 127.

Výhodou je možnost připojování Plug & Play aniž bychom museli restartovat počítač, nebo ručně instalovat ovladače. USB poskytuje připojeným zařízením napájecí napětí 5V. Připojené zařízení si tak může po sběrnici odebírat proud 100mA, pro některá zařízení až 500mA. U osobních počítačů mohou být napájecí vodiče připojeny přímo ke zdroji, tím může zařízení odebírat mnohem větší proud. V této době jsou používány různé typy USB konektorů (viz

Obr. 1.7). Ty používají dvě různé rychlosti, verze 2.0 a 3.0. USB 2.0 vznikla v roce 2000 jako druhá generace po verzi 1.1. Nabízela rychlost až 480 Mbit/s, přenáší se pomocí 4 vodičů, kde 2 jsou napájecí a dva vodiče jsou používány jako datové. V roce 2008 bylo vyvinuto USB 3.0, jeho přenosová rychlost je 5 Gbit/s. Tato technologie má 9 vodičů, namísto původních 4, i přesto zpětně podporuje USB 2.0 [9].

USB je sběrnici s jedním zařízením typu Master, to znamená, že všechny procesy ovládá PC. Data se vysílají v paketech o délce 8-256 bajtů. Při této komunikaci může počítač požadovat data od PC, avšak nikdy není možno, aby zařízení vysílalo data samo od sebe. Přenos dat je uskutečněný v rámci, které trvají přesně 1 ms. V tomto rámci mohou být obsaženy informace pro několik zařízení [4].



Obr. 1.7: Typy USB konektorů (převzato z [9])

1.4 Vývojový kit arduino

1.4.1 Arduino

Arduino je open-source platforma postavena na mikrokontroléru ATmega. Arduino lze použít k vývoji zapojení s pomocí software na počítači (např. Macromedia Flash, Processing, Pure Data).

Projekt Arduino vznikl v Itálii v roce 2005. Cílem bylo vytvořit jednoduchou platformu pro studenty.

Desky vyrábí Italská firma Smart Projects používá při tom 8-bitové mikrokontroléry od firmy Atmel, ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280 a ATmega2560 (Obr. 1.8).

1.4.2 Arduino Mega 2560

Je postaveno na mikrokontroléru ATmega 2560 od firmy AVR, s připojeným externím 16MHz krystalem. S počítačem komunikuje pomocí USB konektoru typu B. Může být napájeno přímo přes tento konektor nebo adaptérem s 2.1mm konektorem o napětí 7-12V. Maximální proud odebíraný z vstupně/výstupních pinů je 40mA a mají interní pull-up rezistory 20-50kΩ.



Obr. 1.8: Vývojový kit Arduino ATmega 2560 (převzato z [2])

Procesor ATmega2560 má 54 digitálních vstupně/výstupních portů, z toho 15 je použito jako PWM¹ výstup, 16 analogových vstupů s 10-bitovým rozlišením a 4 UARTs². Obsahuje flash paměť je 256kB z toho je 8kB použito na bootloader, statickou paměť (SRAM) o velikosti 8kB a EEPROM³ s 4kB paměti [5].

1.4.3 Software

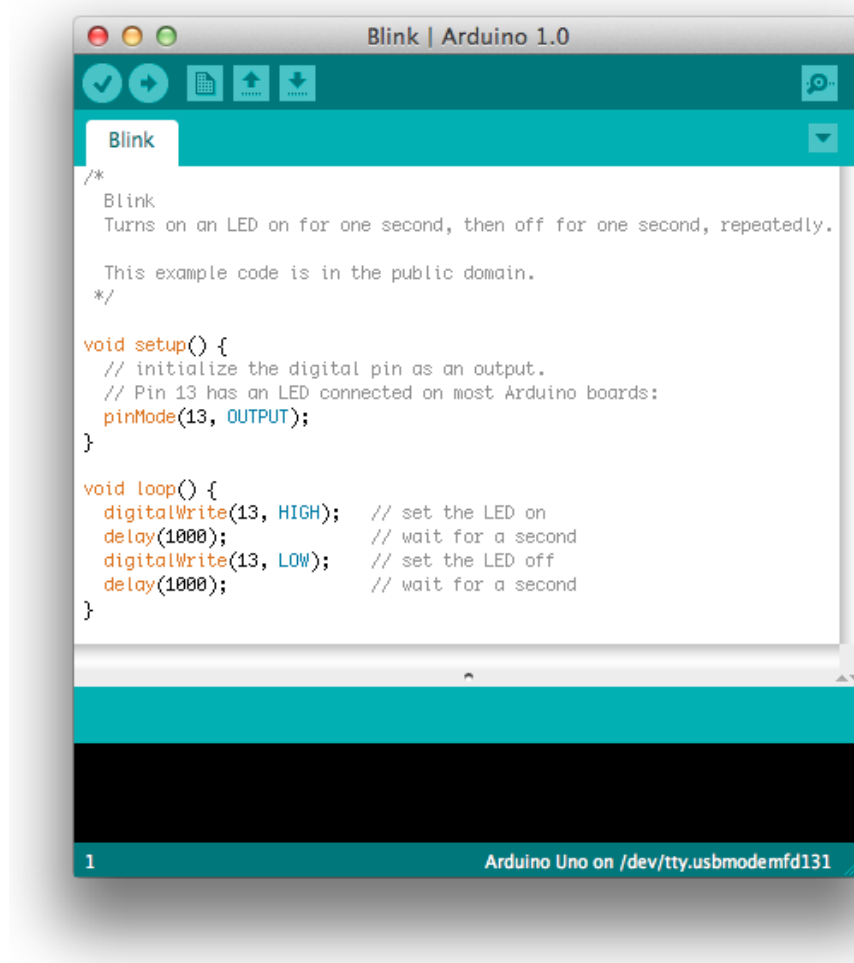
Na vytváření zdrojových kódů pro Arduino je speciální vývojové prostředí (IDE) napsané v Javě (

Obr. 1.9) ,tzn. že je multiplatformní. K psaní kódu se zde používá programovací jazyk označovaný jménem „Wiring“, který je podobný jazyku C. Tento kód se píše do jednoduchého textového editoru. Pro funkčnost programu je nutné nadefinovat dvě funkce setup() – kde se funkce se spustí jednou na startu programu a funkce loop() kde se tělo této funkce spouští opakovaně v nekonečné smyčce.

¹ Pulse Width Modulation (Pulzně šířková modulace)

² Hardwarový sériový port

³ Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory



Obr. 1.9: Vývojové prostředí Arduino 1.0 (převzato z [2])

Dalším softwarem pro komunikaci s Arduinem je Processing. Processing je jednoduché programovací prostředí pro vytváření vizualizačních programů k hardwarovým kitům. V knihovnách tedy nalezneme nejen běžné funkce C/C++, ale i funkce pro práci se sériovým portem, myší, klávesnicí, pro ukládání či načítání dat, a především pro práci s grafikou. Mimo to podporuje snadnou komunikaci po síti, použití OpenGL⁴ a nahrávání videa

Tento program je také napsán v Javě, tudíž jej lze spustit na Linuxu, Macu i na Windows. Používá podobně jako Arduino, dvě základní funkce `setup()` a `draw()`, které obsahují rutiny potřebné pro start programu a pak akce, které se vykonávají v nekonečné smyčce.

⁴ Open Graphics Library

2 NÁVRH STIMULÁTORU

2.1 Požadavky na stimulátor

Před návrhem jakéhokoli přístroje je nutno si nejprve stanovit požadované hodnoty, to často vede k jistým kompromisům, ať už z důvodu konstrukce nebo parametrů daných součástek. Dále je nutné zvážit dostupnost námi vybraných součástek na českém trhu a v neposlední řadě i cenové náklady. Vzhledem k tomu, že v zadání bakalářské práce nejsou přímo zadány žádné výstupní parametry stimulátoru, bylo nutno si je zvolit.

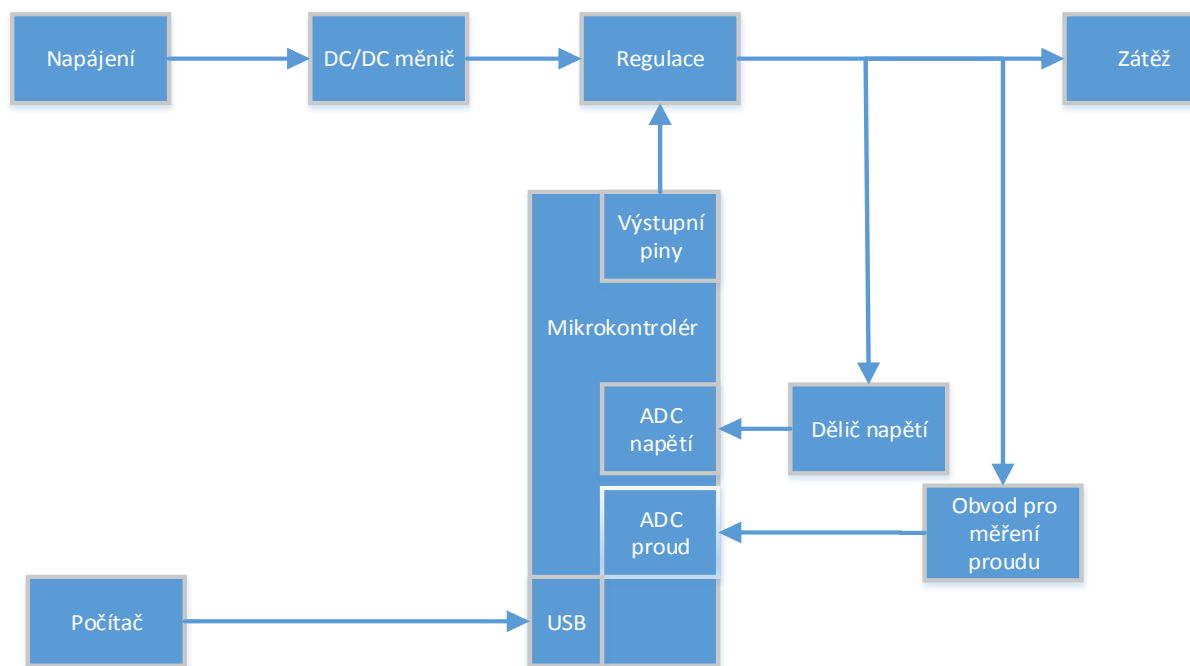
Hlavní parametry jsou maximální výstupní napětí, kterého má být dosaženo na zátěži to je zvoleno na 35 V s regulací minimálně 0,5 V a maximální proud tekoucí do zátěže 80 mA s regulací od 5 mA. V neposlední řadě je nutno si stanovit minimální požadovanou délku impulzu, ta byla zvolena alespoň na 500 μ s a frekvenci opakování těchto impulzů minimálně na 1 kHz.

2.2 Obecné blokové schéma

Nejprve je nutno si navrhnout obecné blokové schéma stimulátoru, ze kterého se dále bude odvíjet obvodové schéma. Toto blokové schéma je zobrazeno na Obr. 2.1. Základ zde tvoří vývojový kit Arduino osazený procesorem ATmega2560 od firmy Atmel. Ten je ovládán z počítače pomocí sériového rozhraní USB. Mikrokontrolér dle příkazů z počítače ovládá svoje výstupní piny. Ty následně regulují pomocí bloku regulace napětí (resp. proud) vycházející z DC/DC do připojené zátěže.

Napětí na zátěži rovno napětí na vstupu děliče napětí, ten nám sníží toto napětí na hodnotu, kterou je schopen zpracovat 10 - bitový A/D⁵ převodník v mikrokontroléru (max. 5 V). Měření proudu je realizováno snímáním úbytku napětí na rezistoru, toto napětí je přivedeno na A/D převodník mikrokontroléru. Vzhledem k tomu, že toto napětí bude na měření příliš malé, bude nutné jej vhodným obvodem upravit.

⁵ Analogově digitální



Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení

2.3 Napájení zařízení

Napájení tohoto zařízení je realizováno z USB portu počítače. Jedná se o konektor typu B. Port by měl dle specifikací dodat stálý proud až 500 mA, při napětí 5 V, tedy 2,5 W. Lze spočítat, že pro napětí 35 V bychom měli mít maximální výstupní proud okolo 70 mA.

Tam kde nebude nutné použití napájení z USB, například absence síťového napájení, lze použít druhou možnost a to napájení pomocí adaptéru. Při připojení napětí 5 V na cívku relé přepne na napájení z adaptéru. Adaptér je schopen dodat poměrně větší výkonové hodnoty než usb.

2.4 Mikrokontrolér

Dle výše uvedeného slouží výstupní piny mikrokontroléru k regulaci výstupních parametrů, a vstupní měření hodnot na zátěži. V následujícím výčtu jsou sepsány hlavní využívané vlastnosti kitu při návrhu stimulátoru:

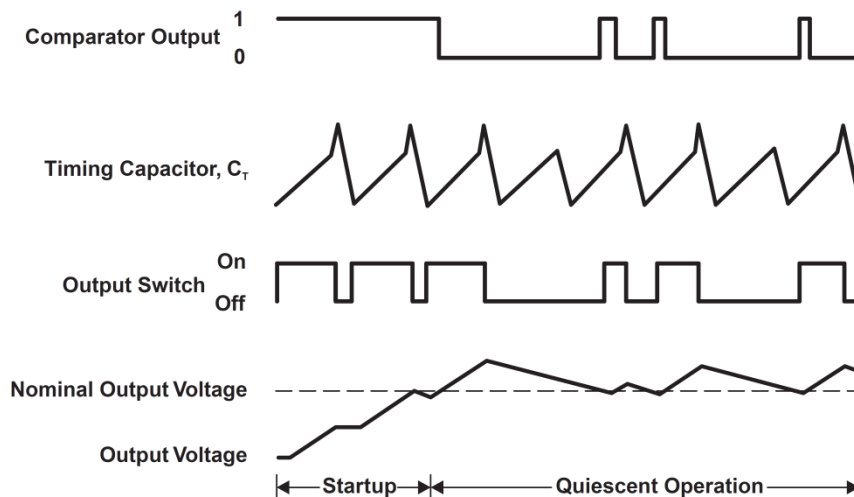
- 256 KB Flash paměti
- 1x 8-bitový Čítač/Časovač s předděličkou
- 1x 16-bitový Čítač/Časovač s předděličkou
- Externí krystalový oscilátor 16Mhz
- 8 KB SRAM
- Digital pin 3 (PE5) generující PWM regulující napětí

- Digital pin 6 (PH3) generující pulsy pro sepnutí tranzistorů
- Analogový vstup 0 (PF0) pro snímání proudu
- Analogový vstup 1 (PF1) použitý pro snímání napětí z děliče

2.5 DC/DC měnič

Měnič má za úkol dodávat napětí do bloku regulace. Pro návrh měniče je použit integrovaný obvod MC34063, jeho princip je podrobněji rozebrán v teoretickém úvodu. Požadavkem na tento měnič je výstupní napětí 36,5 V při vstupním napětí 5 V z USB.

Na Obr. 2.2 jsou typické průběhy pro použitý obvod, z kterých při návrhu budeme vycházet. Typické nabíjecí a vybíjecí proudy jsou 35 uA respektive 200 uA. Horní práh je roven vnitřnímu referenčnímu napětí 1,25V a dolní práh je přibližně 0,75V. Z tohoto lze po zvolení kondenzátoru 1,5 nF díky vztahu [1] vypočítat dobu sepnutí oscilátoru a dobu vypnutí oscilátoru [2]. Následně dle vztahu [3] vypočteme frekvenci vnitřního oscilátoru.



Obr. 2.2: Typické operační průběhy obvodu MC34063 (převzato z [7])

$$t_{on} = \frac{C_T \cdot (U_H - U_L)}{I_L} = \frac{1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5}{35 \cdot 10^{-6}} = 21,43 \text{ us} \quad (2.1)$$

$$t_{off} = \frac{C_T \cdot (U_H - U_L)}{I_H} = \frac{1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5}{200 \cdot 10^{-6}} = 3,75 \text{ us} \quad (2.2)$$

$$f = \frac{1}{t_{on} + t_{off}} = \frac{1}{(21,43 + 3,75) \cdot 10^{-6}} = 39716,3 \text{ Hz} \quad (2.3)$$

Proud zátěží, při kterém začne působit proudové omezení určuje vztah [4] a [5]. Pro napájení zařízení je nutný výstupní proud maximálně 0,1 A při 35 V. Lze vypočítat proud $I_{pk(switch)}$ ze vztahu [4] a následně podle [5] rezistor R3.

$$I_{pk(switch)} = 2 \cdot I_{out} \cdot \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) = 2 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{21,43 \cdot 10^{-6}}{3,75 \cdot 10^{-6}} + 1 \right) = 1,34 \text{ A} \quad (2.4)$$

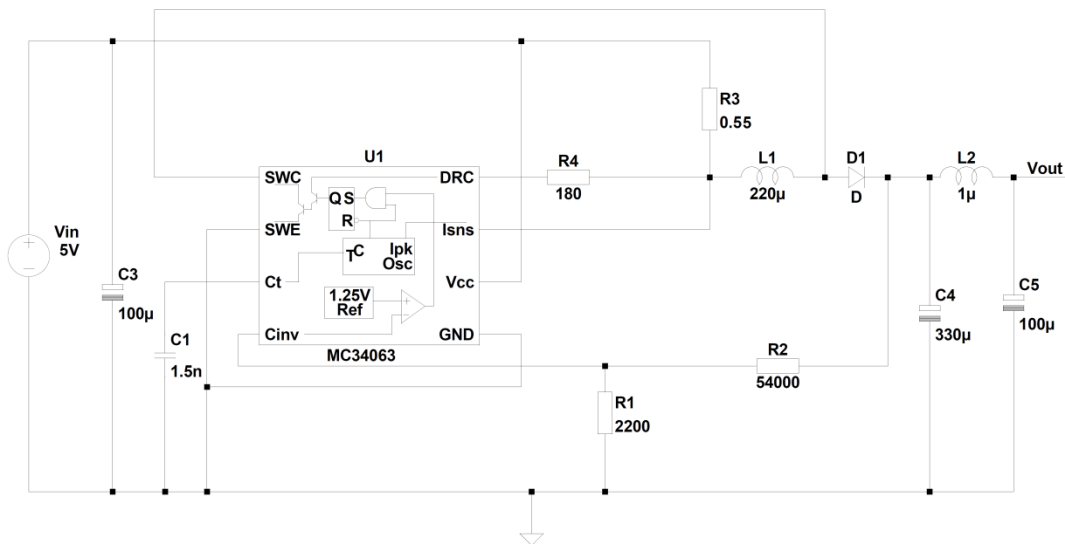
$$R_3 = \frac{0,33}{I_{pk}} = \frac{0,33}{1,34} = 0,25 \text{ } \Omega \quad (2.5)$$

Hodnoty součástky R2 lze vypočítat úpravou vztahu [1.2] získaného z datasheetu. Při zvoleném rezistoru R1 o hodnotě 2,2 k Ω , vypočteme podle vztahu [6] rezistor R2 na 62 k Ω , který vznikne sériovým spojením rezistorů o hodnotě 47 k Ω a 15 k Ω .

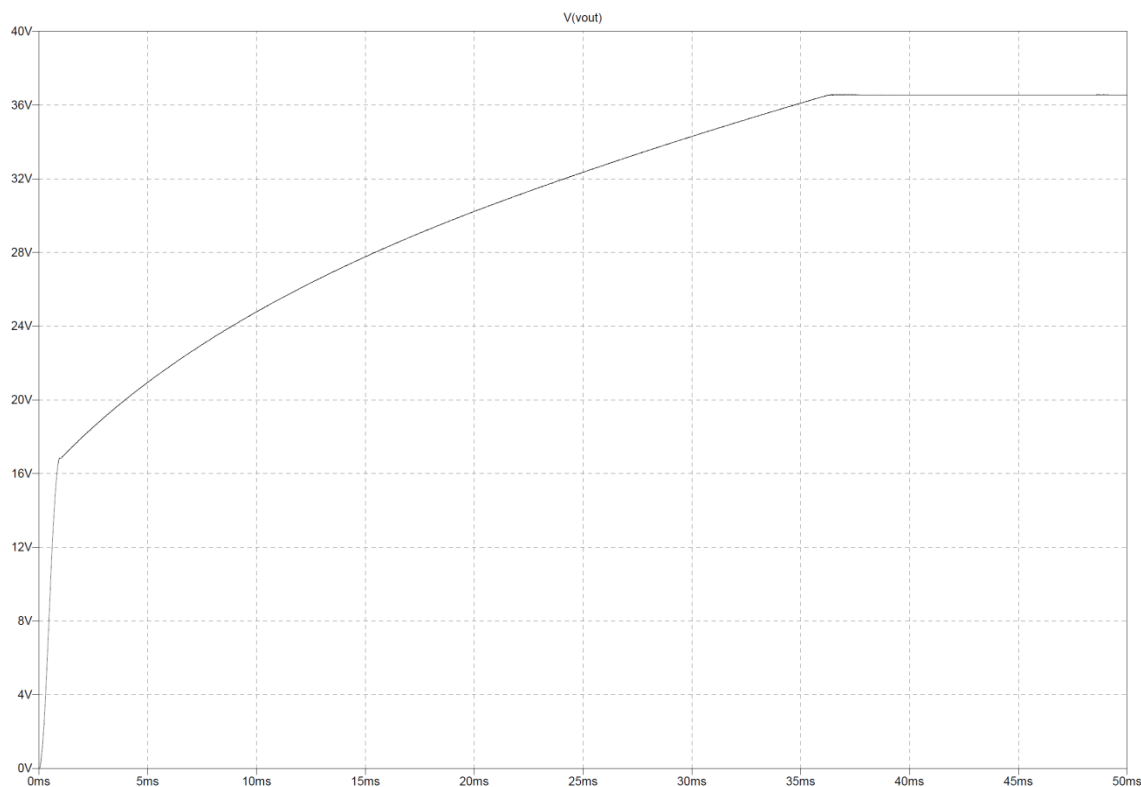
$$R_2 = \left(\frac{R_1 \cdot (|U_{OUT}| - 1,25)}{1,25} \right) = \left(\frac{2 \cdot 200 \cdot (36,5 - 1,25)}{1,25} \right) \doteq 62 \text{ k}\Omega \quad (2.6)$$

Ostatní součástky jsou voleny dle doporučení výrobce [7]. Důležité je však dbát na maximální možný proud procházející cívkou L1. Zde musí být zvolen kompromis mezi rozměry, maximální proudovým zatížením a dostupností na trhu. Na základě toho je zvolena navinutá cívka navinutá na jádře s maximálním proudem 550 mA.

Z vypočtených součástek je navrženo schématické zapojení zobrazené na Obr. 2.3. Zapojení bylo následně simulováno v softwaru LTspice a průběh této simulace je zobrazen na Obr. 2.4. Z průběhu lze vidět, že výstupní napětí je předpokládaných 36,5 V a této hodnoty dosáhneme přibližně po 37 ms od zapnutí a dále se již tato hodnota drží konstantně.



Obr. 2.3: Schématické zapojení měniče



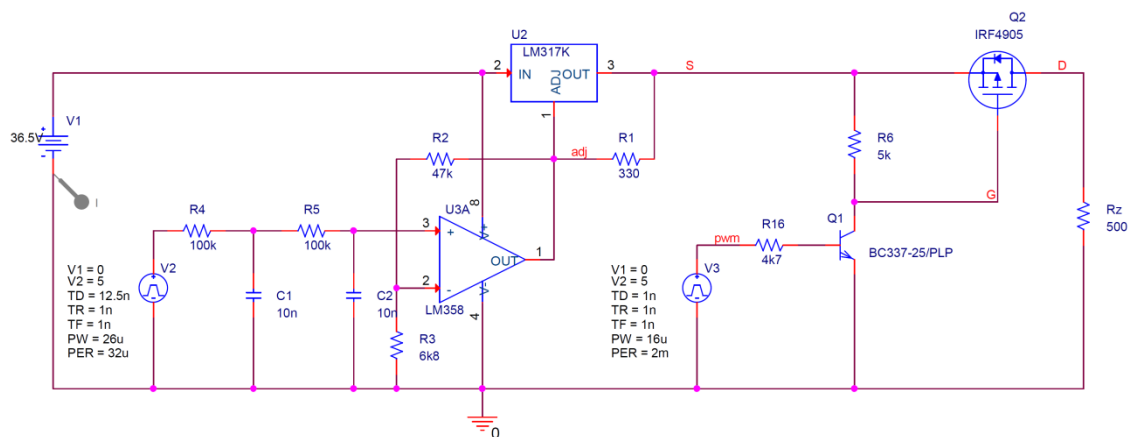
Obr. 2.4: Simulace zapojení DC/DC měniče pro vstupní napětí 5 V

2.6 Regulace parametrů

Regulace parametrů je prováděna pomocí výstupních pinů mikrokontroléru. Na těchto pinech je generováno napětí pulsně šířkovou modulací. K regulaci se používají dva piny, první z nich je použit pro změnu napětí a druhý ke spouštění impulsů do zátěže díky kombinaci tranzistorů jak se zobrazeno ve schématu na Obr. 2.5.

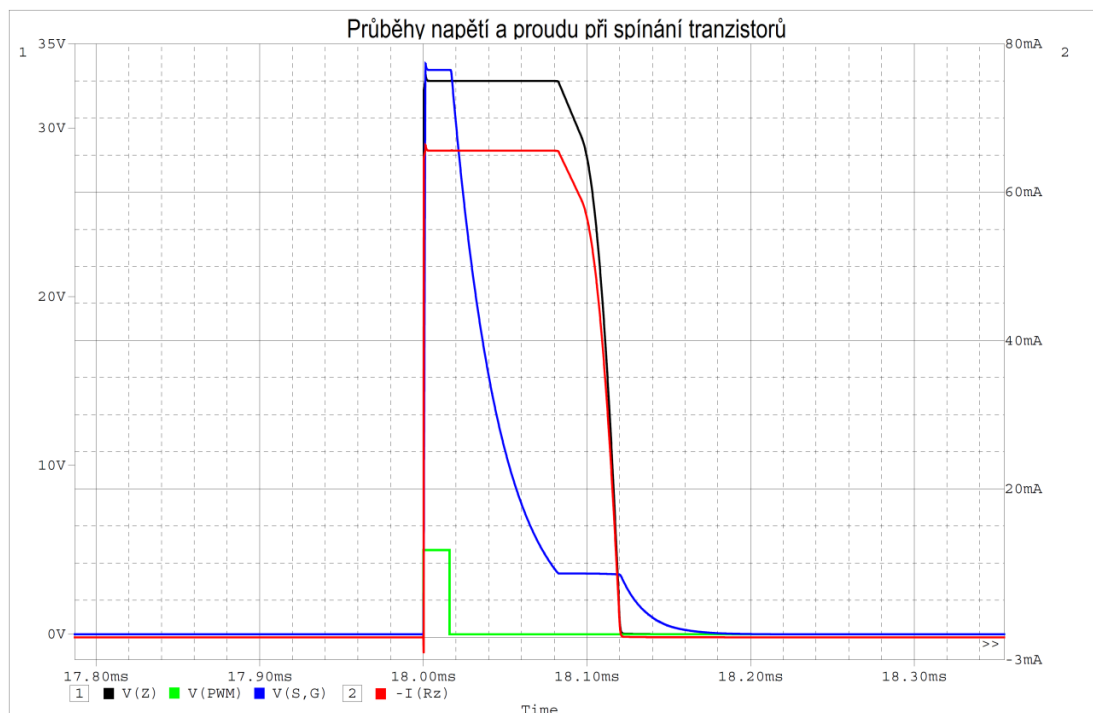
Pro řízení napětí je zde hlavním funkčním blokem regulátor TL317, který je schopný regulovat výstupní napětí až do 37 V, resp. do napětí vstupního sníženého o vnitřní referenci 1,2 V. K vytváření řídicího napětí pro tento obvod slouží operační zesilovač LM358, tento obvod zesiluje napětí přiváděné z MCU. Napětí je nutné vyfiltrovat, k tomu slouží RC dolní propust druhého řádu s mezní frekvencí 160 Hz. Napětí je následně zesíleno pomocí operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení, které má velký vstupní odpor a nezatěžuje tedy mikrokontrolér. Jak je vidět ze vztahu [7] na výstupu OZ dostaneme 7,9x zvětšené vstupní napětí díky zpětnovazebním rezistorům R_2 a R_3 .

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_3} = 1 + \frac{47 \cdot 10^3}{6,8 \cdot 10^3} = 7,911 \quad (2.7)$$



Obr. 2.5: Obvod pro řízení výstupních parametrů

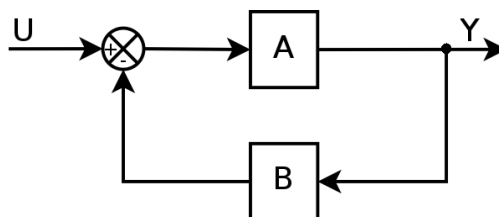
Výstupní napětí ze stabilizátoru je přiváděné na spínací tranzistor. Řídicím napětím přiváděným z mikrokontroléru na bázi bipolárního tranzistoru NPN se sepne. Tranzistor Q1 je tedy otevřen a začíná jím protékat proud mezi kolektorem a emitorem. Tímto se zvýší napětí U_{GS} MOSFET tranzistoru Q2 s indukovaným P kanálem a začne se otvírat hradlo mezi drain a source na základě toho začne téct proud zátěží. Průběhy napětí a proudu v jednotlivých větvích ze simulace v softwaru PSpice je zobrazen na Obr. 2.6. Ten zobrazuje napětí na zátěži (černá křivka) pro rezistor $500\ \Omega$ a jemu odpovídající proud (červená křivka). Jak je vidět z průběhu nevýhodou tohoto zapojení je velká sestupná hrana která dosahuje $40\ \mu s$, lze ji zkrátit snížením hodnoty rezistoru R6 u kolektoru tranzistoru Q1, ale za cenu větších výkonových ztrát, zvolen byl tedy kompromis s rezistorem $R6 = 5\ k\Omega$



Obr. 2.6: Průběhy napětí a proudů při spínání tranzistorů

2.7 Zpětná vazba

Zpětná vazba je zde aplikována z důvodu stálých výstupních parametrů při změně zátěže. Jedná se o zápornou zpětnou vazbu. Tento druh vazby se používá pro udržení stálých parametrů stimulatoru, jelikož v případě vychýlení od nastavených parametrů působí proti výchylce a potlačuje ji. Regulovat je možno proud nebo napětí. Principiální zapojení je ukázáno na Obr. 2.7, zde signál prochází přímou větví přes blok „A“ na výstup část se jej vrací přes zpětnou vazbu blokem „B“ do akčního členu, který signál reguluje dle potřeby.



Obr. 2.7: Princip záporné zpětné vazby

2.7.1 Měření napětí

Měření výstupního napětí stimulatoru je realizováno pomocí 10-bitového A/D převodníku, který je implementován v mikroprocesoru. Maximální měřitelné napětí tímto převodníkem je 5 V. Z důvodu nutnosti měřit napětí až do hodnoty 35 V, je třeba upravit jeho úroveň pomocí napětíového děliče. Budeme-li ve schématu na Obr. 2.8 počítat s tím že se na vstupu může objevit vyšší napětí, musíme zvolit dělicí poměr alespoň 7,5, hodnotu rezistoru R_{14} si zvolíme na 180 k Ω a hodnotu druhého rezistoru následně spočítáme za pomoci vztahu [9], čímž vyjde hodnota druhého rezistoru $R_{15}=27$ k Ω .

2.7.2 Měření proudu

Stimulátor by měl být schopen, alespoň orientačně, měřit proud tekoucí zátěží. K tomuto účelu lze použít několik různých technik. V každém případě se bude proud vypočítávat z úbytku napětí na měřicím odporu. Hlavním požadavkem na tento rezistor je, aby měl co nejmenší měrný odpor, tedy co nejméně ovlivňoval výstupní napětí svým úbytkem, při tom však nesmí být příliš malý, aby tento vzniklý úbytek byl měřitelný.

Měření úbytku napětí by bylo možno realizovat přímo A/D převodníkem v mikroprocesoru. Na jeden vstup se zapojí potenciál ze vstupu měřicího rezistoru a na druhý vstup se zapojí výstup měřicího rezistoru. Tento rozdíl napětí je však v tomto případě příliš malý, tudíž je nutno jej zesílit. K tomu slouží operační zesilovač.

Nejvhodnějším zapojením operačního zesilovače pro tento účel je diferenční, u kterého je na výstupu zesílený rozdíl vstupních napětí. Na schématu (Obr. 2.8) je zobrazeno zapojení rozdílového zesilovače se dvěma OZ⁶, které bude sloužit pro měření

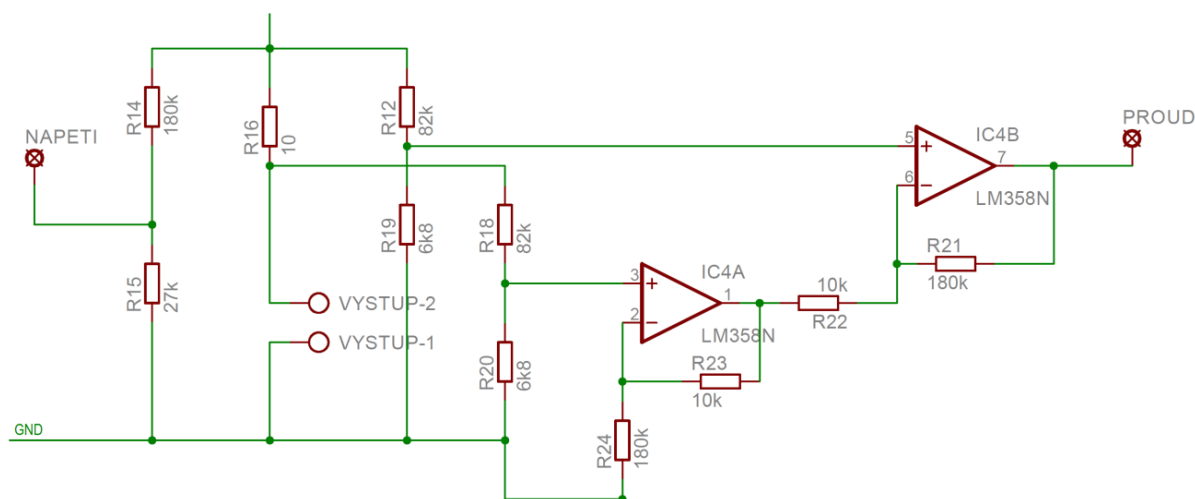
⁶ Operační zesilovač

proudu. Na neinvertující vstupy obou OZ se připojí výstupy napěťových děličů. Ty obdobně jako v předchozím případě pro měření napětí, zmenšují tuto úroveň na napětí, které je možné připojit na vstup OZ, aniž by došlo k jeho zničení.

Při zvoleném měřicím rezistoru $10\ \Omega$ bude maximální úbytek napětí při proudu 100mA rovný 1 V , které je však sníženo díky děličům na hodnotu $76,5\text{mV}$. Tuto hodnotu je následně nutno zesílit. Podělením výstupního napětí z OZ a maximálního úbytku na měřicím rezistoru dostaneme požadovanou hodnotu zesílení OZ, které činí 19. Ze vztahu [8] pro výpočet zesílení diferenčního zapojení si vyjádříme koeficient zesílení K , následně si zvolíme rezistor $R_{23}=R_{22}$ o hodnotě $10\text{ k}\Omega$ a podle vztahu [9] dopočítáme velikost rezistoru $R_{24}=R_{21}$.

$$U_{OUT} = \frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot (U_{IN2} - U_{IN1}) \rightarrow K = \frac{R_1+R_2}{R_1} \quad (2.8)$$

$$K = \frac{R_1+R_2}{R_1} \rightarrow R_{24} = K \cdot R_{22} - R_{22} = 19 \cdot 10\ 000 - 10\ 000 = 180\text{ k}\Omega \quad (2.9)$$



Obr. 2.8 : Obvod pro měření napětí a proudu

2.7.3 Ochrana proti přetížení

Ochrana proti přetížení se používá v případě zapojení výstupu nakrátko, to znamená zkratování přístroje na výstupu, ten by však měl po odstranění závady být opět funkční.

O tuto ochranu se primárně stará vratná pojistka (PPTC⁷) zobrazená na Obr. 2.9. Jedná se v podstatě o nelineární termistory, kde každá pojistka má maximální proud. Protéká-li touto pojistkou maximálně tento proud, má velmi malý odpor (dle [10] maximálně jednotky ohm). Při překročení tohoto proudu dojde k zahřátí pojistky nad prahovou teplotu a hodnota odporu se zvýší několikanásobně. Vzhledem ke zvolenému maximálnímu výstupnímu proudu 80 mA je nutné zvolit nejbližší vyšší. V katalogovém listu [10] tomu odpovídá pojistka s maximálním proudem 100mA .

⁷ Polymerové zařízení – s pozitivním teplotním koeficientem

Další ochrana proti přetížení bude zajištěna softwarově. Obvod pro měření proudu (viz kap. 2.7.2) bude neustále snímat proud zátěží, překročí-li tento proud hodnotu 100mA dojde k uzavření tranzistorů a v závislosti na tom přestane téct zátěží proud. Implementace ve zdrojovém kódu je rozebrána dále v kapitole 3.2.



Obr. 2.9: Vratná pojistka Schurter PFRA (převzato z [10])

Částečnou ochranu tvoří i část DC/DC měniče s obvodem MC34063, který je vnitřně omezen proti přetížení. Hodnotu dovoleného proudu určuje rezistor R3, což je podrobněji rozebráno v kapitole 2.5.

3 SOFTWARE ZAŘÍZENÍ

Software pro obsluhu tohoto zařízení se dá rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří program vytvořený, a spustitelný na PC, ve kterém uživatel zadává požadované údaje pro stimulaci a ovládacími tlačítky spouští, resp. zastavuje stimulaci díky komunikaci přes sériový port. Tento program je napsán v jazyce Java v softwaru Processing. Druhou tvoří zdrojový kód nahraný v paměti mikroprocesoru, který má na starosti časování a chod stimulace. Tento program se spouští ihned po zapnutí napájení mikrokontroléru.

3.1 Obslužný software

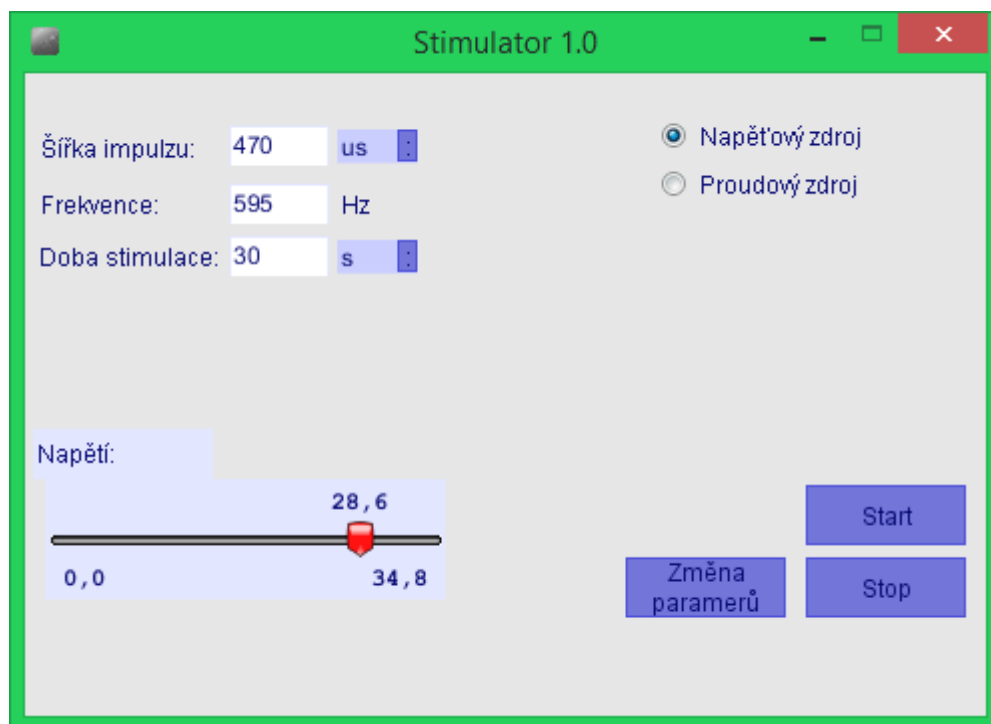
Aby bylo možné měnit parametry stimulatoru v reálném čase, je nutné mít navrhnoutou aplikaci k tomu určenou. K návrhu aplikace slouží software Processing.

V interface programu jsou jednoduché ovládací prvky. Mezi něž patří textová pole, do nichž se zadávají číselné hodnoty časových parametrů stimulace. Nejdříve lze zadat šířku impulsu s možností volby jednotek mikrosekund nebo milisekund. Další možností k nastavení je frekvence opakování impulsů v Hz. Poslední textové pole slouží k nastavení doby stimulace, tzn., jak dlouho se budou vysílat impulzy do zátěže. Opět je zde možnost nastavení hodnot v sekundách nebo minutách. Tyto hodnoty lze nastavovat pouze za pomoci celých kladných čísel.

Dále je zde možnost změnit výstupní napětí nebo proud. K tomu slouží vertikální posuvník, který má pro změnu napětí krok 0,1 V. Jestliže je požadován proudový zdroj, je nutné jej zvolit v nabídce, poté se zobrazí posuvník v rozsahu 10 – 100 mA, který je cejchován po 1 mA.

V další části jsou tři tlačítka. Prvním z nich je tlačítko „Změna parametrů“, které odesílá námi nastavené parametry stimulace do mikroprocesoru. V případě, že je v průběhu stisknutí spuštěna stimulace, je tímto tlačítkem automaticky zastavena. Další je tlačítko „Start“ sloužící pro spuštění stimulace. Poslední je tlačítko „Stop“, které je určené k zastavení stimulace.

Tento program ihned při inicializaci kontroluje, zda je dostupný modul Arduino přes sériový port. V případě, že není, nepokračuje software dále ve spuštění. Software je tedy spustitelný pouze s připojeným stimulatorem.



Obr. 3.1: Interface počítačového programu

3.1.1 Popis sériové komunikace

Přenos dat mezi PC a stimulátorem obstarává rozhraní USB. Rozhraní je nastaveno na komunikaci o rychlosti 115 200 Bd⁸. Tímto jsou odesílány znaky z ASCII tabulky, resp. 8bitová čísla reprezentující určitý znak. Příkazy pro zastavení nebo spuštění stimulace a pro změnu parametrů jsou odesílány jako řetězec těchto znaků. Tato komunikace musí být předem dána, aby jí dokázal mikroprocesor porozumět.

Přenášeny jsou dva základní řetězce. První z nich je pro zastavení a spuštění stimulace. Druhým z nich je pro změnu parametrů. Tyto řetězce musí být vždy ukončeny písmenem ‚A‘, které slouží podobně jako stop bit. Pro spuštění se odešle přes sériový port „srA“ - set run a pro zastavení „ssA“ – set stop.

Ke změně parametrů slouží řetězec ve formátu „p mode num;amp;dur;delaya;A“. Nejprve je třeba odeslat znak ‚p‘ – parametr pro změnu hodnot následuje znak Mode který určí zda se má jednat o proudový či napětový zdroj. V prvním případě odešle 8bitový znak ‚c‘ v druhém případě znak ‚v‘.

Num udává počet taktů přerušení timeru, při kterých bude kladné napětí. Vzhledem k tomu že přerušení v mikroprocesoru přichází každých 16 us, bude šířka pulzu dána násobkem čísla num a 16 us.

Amplitudu pulzů je uložena v proměnné amp. Proměnná je dána napětím zadaným na posuvníku vynásobené konstantou 7,286. Tu získáme podělením maximálním počtem kroužků pwm (255) a maximálním napětím (35 V).

Dalším odesílaným číslem je dur. To určuje počet přerušení timeru, v kterých bude kladné napětí. Vzhledem k tomu že přerušení v mikroprocesoru přichází každých 16 us, bude šířka pulzu dána násobkem čísla num a 16 us. Posledním odeslaným údajem je hodnota delaya. Ta udává počet taktů timeru, při kterém bude hodnota napětí v nulové

⁸ Baud - symbolová rychlost udávající počet změn stavu přenosového média za jednu sekundu

hodnotě. Vypočítá se ze vztahu [10] kde f je frekvence zadaná v programu a t_{on} je šířka impulzu. Za každým tímto číslem musí následovat středník pro oddělení a na konci opět ukončovací znak 'A'.

$$delaya = \frac{\frac{1}{f} t_{on}}{16} \quad (2.10)$$

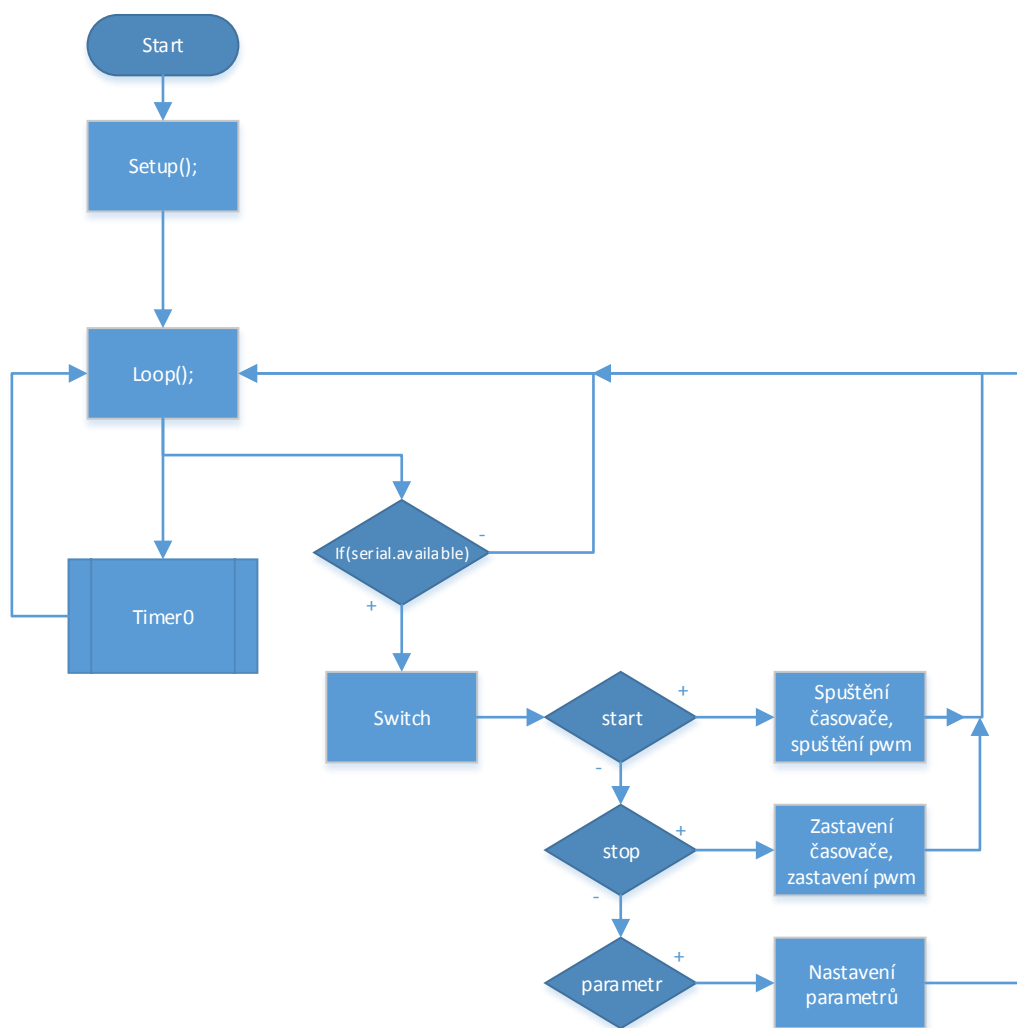
3.2 Zdrojový kód mikroprocesoru

Zdrojový kód je „mozkem“ celého přístroje, který určuje, kdy a jak se mají spouštět výstupní piny mikrokontroléru. Řídí se podle něj časování a měření proudu. Blokový diagram zdrojového kódu je na Obr. 3.2.

Po připojení napájení dojde nejprve k inicializaci proměnných a definici pinů. Následně se nastaví sériová komunikace a předděličky timerů. V případě že inicializace proběhla správně, následuje hlavní smyčka `loop()`, ta se neustále opakuje, a přitom kontroluje, zda nejsou pomocí sériového portu přijímána data.

Program dekóduje řetězec, jak bylo popsáno už v kapitole (3.1.1). Podle toho spustí či zastaví stimulaci nebo uloží číselné parametry do daných proměnných. V případě přijetí příkazu pro start stimulace, se ihned spustí timer 2, který každých 16 us kontroluje, zda má následovat kladný impulz nebo nulová úroveň a dle toho spíná nebo vypíná výstupní pin 6 (PH3) spíná tranzistory. Při každém kladném impulzu MCU měří proud zátěží. Jestliže je tato hodnota proudu větší než 100 mA, dojde k poklesu výstupního napětí ze stimulátoru. Po odstranění přetížení je nutné znovu spustit stimulaci.

Je-li zvolen ke stimulaci proudový zdroj, je při každém kladném impulzu měřena hodnota proudu zátěží díky vstupnímu pinu A0 (PF0). Tato hodnota je porovnávána s nastavenou hodnotou uživatele. V případě, že je tato hodnota menší napětí generované pomocí pwm na pin 3 (PE5) se zvětší, v opačném případě se zmenší. Tento vytvořený program zabírá 9 136 byte v flash paměti mikroprocesoru.



Obr. 3.2: Vývojový diagram zdrojového kódu

4 REALIZACE STIMULÁTORU

Jakmile je zařízení navrženo následuje návrh desky plošného spoje. K tomuto účelu je k dispozici nepřehledné množství softwaru. Mezi nejznámější z nich patří software Eagle, který byl při sestavování použit. Po tomto následuje vlastní výroba DPS⁹, její osazení součástkami a upevnění do krabičky. Na závěr zbývá proměření parametrů hotového výrobku.

4.1 Návrh DPS a osazení

Návrh desky vychází z obecně známých faktů, mezi něž patří například rozložení konektorů v závislosti na zvolené krabičce. K tomuto návrhu byl použit software Eagle verze 6.3.0. Rozměr této desky byl zvolen dle specifikace krabičky KM55 na 121x68 mm kterou bude ještě následně nutné upravit do přesných rozměrů.

Jedná se o jednostrannou desku neobsahující smd součástky. Konektor usb pro napájení je situován na čelním okraji desky, spolu se šroubovacími konektory pro připojení výstupních konektorů, spínače konektor externího napájení. Použité elektrolytické kondenzátory jsou na maximální napětí 50 V, což je pro tyto účely dostačující a pro filtraci pwm jsou zvoleny keramické kondenzátory. Dále je deska osazena jedním integrovaným obvodem MC34063 s pouzdrem DIP08 a dvěma operačními zesilovači LM358 taktéž se pouzdrem DIP08. Operační zesilovač pro napětíovou referenci je napájen z výstupu DC/DC měniče a druhý operační zesilovač pro měření proudu je napájen z desky arduina +5 V. V neposlední řadě je deska osazena obvodem LM317 v pouzdře TO220 a rezistory. Rozteč některých vývodů rezistorů byla zvolena na 5 mm, což při osazování způsobovalo mírné potíže. Výsledná osazená deska je zobrazena na Obr. 4.1.

Při návrhu desky se kromě napájení z usb počítalo taktéž s napájením pomocí adaptéru z elektrické sítě. Mezi těmito dvěma způsoby je možné přepínat pomocí relé přivedením napětí na cívku. Tato úprava měla sloužit v případě, že by usb nebylo schopno dodat požadovaný proud. V závěrečné realizaci však není použito. Taktéž jsou na desce vyvrtány díry pro další konektor usb, který by sloužil v případě použití některého menšího vývojového kitu Arduino pro komunikaci s PC.

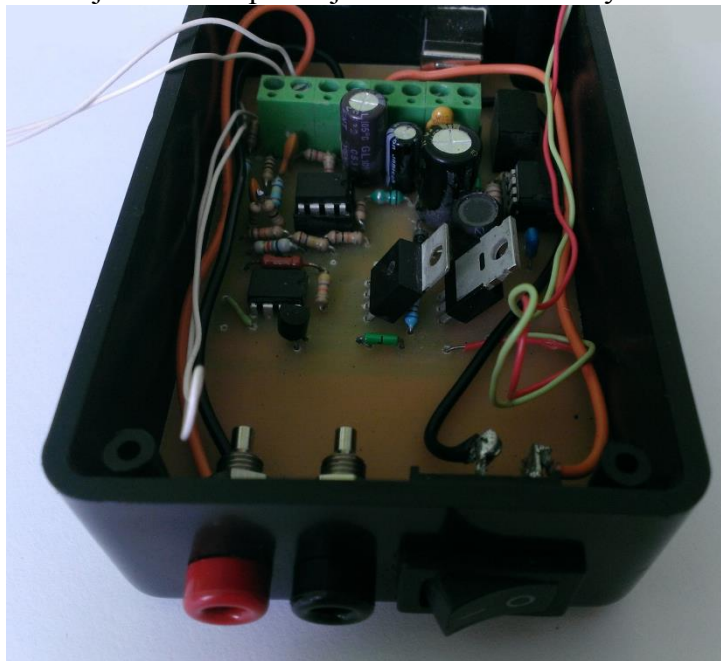


Obr. 4.1: Osazená deska stimulátoru

⁹ Deska plošného spoje

4.2 Konstrukční provedení

Osazená deska plošného spoje spolu s kitem Arduino je implementována do krabičky KM 55. Na čelní straně jsou výstupní konektory s kladnou a zápornou svorkou. Vedle těchto svorek je hlavní vypínač zařízení. Na zadní straně jsou dva konektory USB jeden z nich pro připojení napájení a druhý pro ovládání Arduina. Na Obr. 4.2 lze vidět DPS v krabičce a na Obr. 4.3 je zobrazen přístroj z čelní a zadní strany.



Obr. 4.2: Pohled do osazeného přístroje

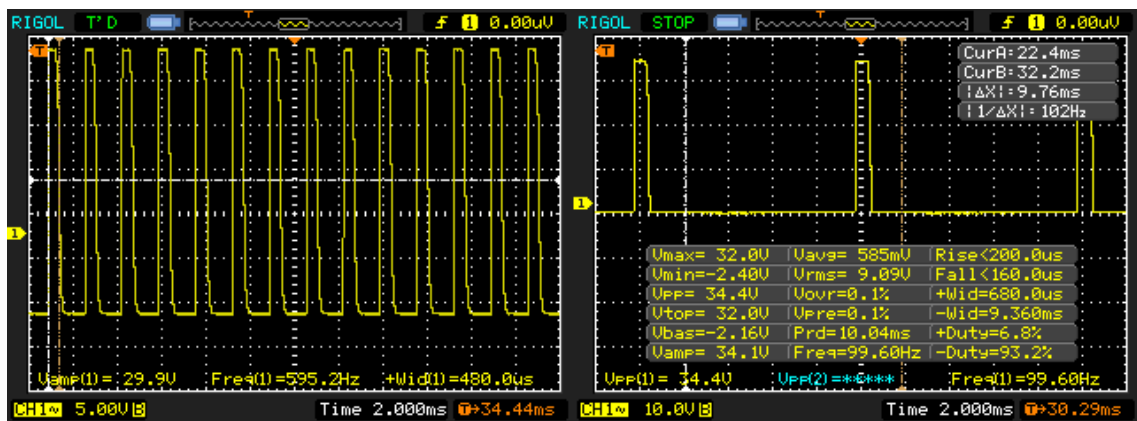


Obr. 4.3: Přístroj z čelní (vlevo) a zadní (vpravo) strany

4.3 Měření přípravku

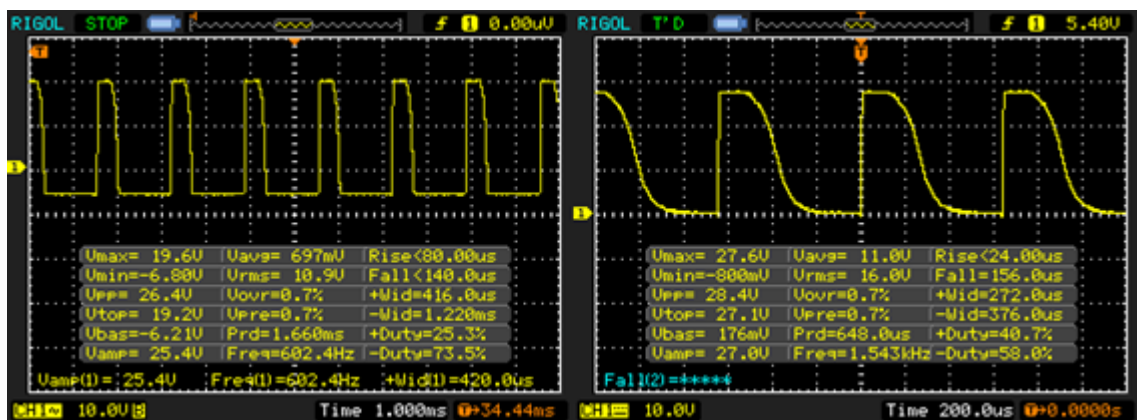
Pro měření stimulátoru byla použita elektrická zátěž GW Instek PEL-300 na níž je možno nastavit zatěžující proud 6 mA až 60 A při napětí 3 V až 60 V. K porovnání správnosti zadávaných parametrů z PC a reálných parametrů posloužil osciloskop Rigol DS1102D.

Nejprve byly proměřeny časové a napěťové vlastnosti přístroje pomocí osciloskopu. Na Obr. 4.4 jsou zobrazeny průběhy pro různé hodnoty. Vlevo je průběh, při kterém byly zadáno napětí 30 V při frekvenci 595 Hz a šířkou pulzů 480 us. Vpravo pro 35,5 V šířka impulsu 680 a frekvence 100 Hz.



Obr. 4.4: Průběhy napětí na zátěži

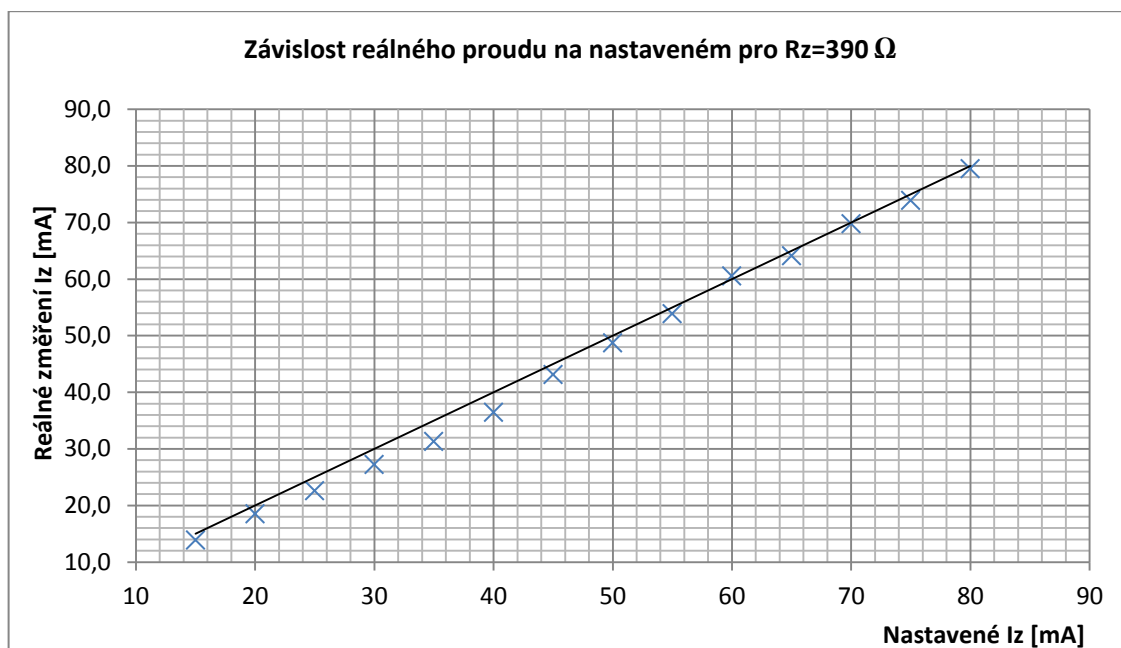
Další průběhy z osciloskopu jsou na Obr. 4.5. Průběhy vlevo jsou pro nastavované hodnoty 25,2 V s frekvencí 600 Hz a šířkou impulsu 420 us. Lze vidět, že jsou zde nepatrné rozdíly mezi nastavenými a reálnými hodnotami. Průběh napětí vpravo zobrazuje maximální možnou frekvenci, kterou lze nastavit. Ta je závislá na šířce impulsu. Při nejkratším možném pulzu 272 us dosahuje tato frekvence 1,540 kHz. Minimální šířka pulzu je dána tranzistorem Q1 a rychlostí, s kterou je schopen se uzavřít. Z průběhu je také vidět, že sestupná hrana trvá 156 us, ta je silně ovlivněna velikostí zatěžujícího rezistoru.



Obr. 4.5: Průběhy napětí na zátěži 2

Za pomoci elektronické zátěže jsem proměřoval proudové vlastnosti zdroje. Nejprve jsem vyzkoušel softwarovou proudovou pojistku. Jakmile došlo k překročení 100 mA hodnoty proudu zátěží. Napětí skokově kleslo na nulu. Stimulace pokračovala po znovuspuštění pomocí PC programu.

V dalším kroku jsem proměřil závislost proudu, který protéká zátěží v závislosti na nastaveném proudu v softwaru. Závislost je zobrazena pomocí grafu. Černá křivka zobrazuje ideální průběh. Maximální odchylka tohoto proudu činila 3,7 mA při nastavené hodnotě 35 mA.



4.4 Parametry stimulatoru

Napájecí napětí:	5 V (z portu USB)
Rozsah výstupního napětí:	3-35 V
Minimální krok změny výstupního napětí:	100 mV
Rozsah proudové regulace	10-80 mA
Max. odchylka proudu	3,7 mA
Max výkon	2,8 W
Šířka impulzu	272 us - 500 ms
Frekvence	1 Hz – 1 540 Hz
Doba stimulace	10 s – 50 min

5 ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo navrhnout, sestavit a proměřit zařízení, které má sloužit jako stimulátor. Ten by mělo být možno ovládat pomocí PC a měnit jeho výstupní parametry. Přístroj byl nejprve teoreticky navržen. Následně bylo provedeno ověření pomocí počítačových simulací v softwarech LTspice a PSpice. Poté bylo provedeno navržení desky plošných spojů v programu Eagle a osazení součástkami. Na závěr byla tato deska proměřena a ověřeny parametry.

Při teoretickém návrhu byl použit DC/DC měnič s integrovaným obvodem MC34063. Výstupní napětí z měniče bylo nutné regulovat pomocí pwm signálu, který je generován mikrokontrolérem. K tomuto slouží obvod LM317 spolu s operačním zesilovačem. Tato kombinace poskytuje regulaci napětí s rozlišením 0,1 V rozsahu 2 - 35 V. V další části bylo nutné zajistit správné spínání napětí, k tomu jsou použity dva tranzistory. Díky nim lze nastavovat šířku pulzů s krokem 16us.

Na straně mikrokontroléru probíhal vývoj zdrojového kódu v programovacím prostředí Arduino. Tento kód zajišťuje příjem dat z PC, generování PWM signálu na základě požadovaných parametrů. V neposlední řadě měří výstupní napětí a proud pomocí A/D převodníku. Pro PC byl vytvořen program v prostředí Processing. Tento program umožňuje nastavování požadovaných parametrů a je schopen spouštět a zastavovat generování impulzů.

V závěru práce byly změřeny vlastnosti vytvořeného přístroje. Konkrétně byly ověřeny vlastnosti časové a napěťové pomocí osciloskopu. Měřením bylo ověřeno, že změna napětí lze s přesností na 0,1 V pro rozsah 2 – 35 V. Chyba pro frekvenční rozsah byla v řádech desetin Hz a chyba šířky impulzu byla maximálně jednotky us s možností rozsahu 270 us – 1 ms. Pro měření vlastností proudového zdroje byla použita elektronická zátěž. Zatěžovací odpor byl zvolen 390 Ω a závislost reálných a nastavených hodnot zaznamenána do grafu. Maximální odchylka byla změřena 3,7 mA.

LITERATURA

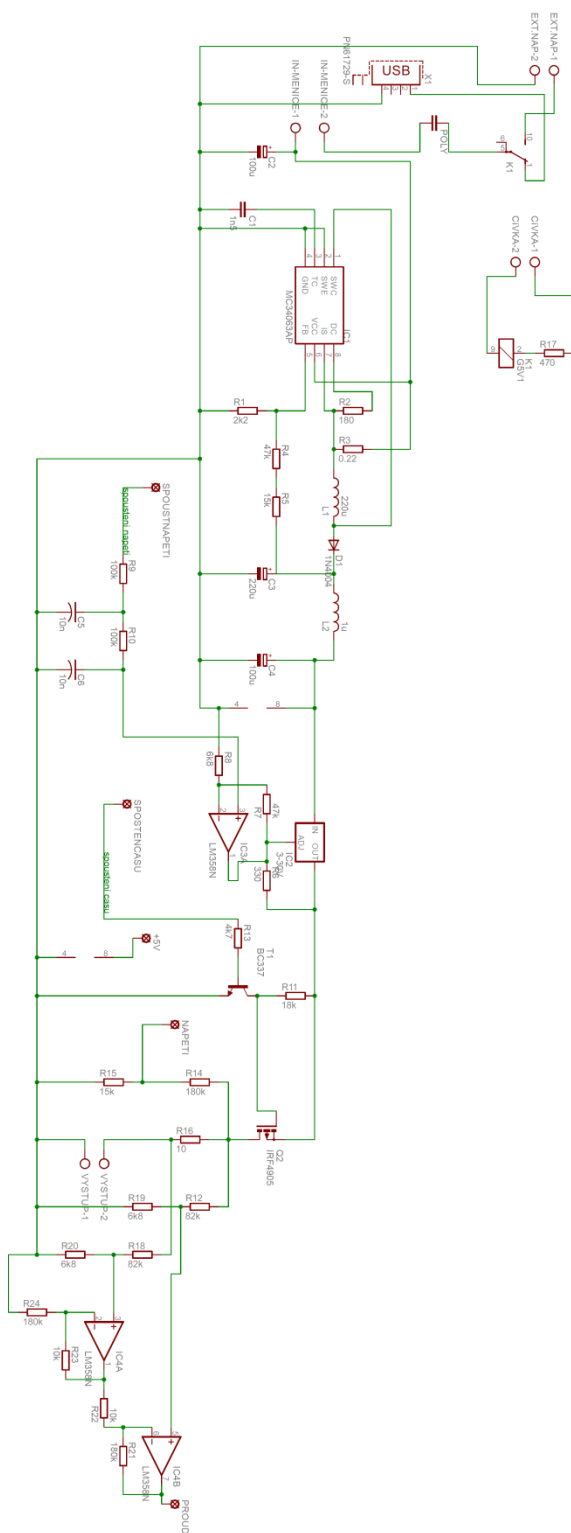
- [1] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *DC/DC měniče*. 1. Vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2001, 111 s. ISBN 80-730-0045-8.
- [2] CREATIVE COMMONS. *Arduino* [online]. 2010 [cit. 2013-11-09]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/>
- [3] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Zdroje proudu*. 1. Vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1999, s. 1-15. ISBN 80-86056-84-8.
- [4] KAINKA, Burkhard. *USB. Měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. 1. Vyd. Praha: BEN, 2002, s. 1-15. ISBN 80-7300-073-3.
- [5] *Mikroprocesor Atmega640/1280/1281/2560/2561*. [online]. 10/2012, 447 s. [cit. 25.11.2013] ATMEL. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf>
- [6] *Operační zesilovač LM358*. [online]. 2000, 33 s. [cit. 29.11.2013] TEXAS INSTRUMENTS. Dostupné z WWW: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358-n.pdf>
- [7] *DC/DC měnič MC34063*. [online]. 2007, 15 s. [cit. 29.11.2013] ON SEMICONDUCTOR. Dostupné z WWW: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF
- [8] *Lineární regulátor napětí LM317*. [online]. 2011, 12 s. [cit. 8.5.2014] ON SEMICONDUCTOR. Dostupné z WWW: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/LM317-D.PDF
- [9] Universal Serial Bus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
- [10] Resettable Fuses. [online]. 2014, 4 s. [cit. 4.5.2014] SCHURTER INC. Dostupné z WWW: http://www.schurterinc.com/var/schurter/storage/ilcatalogue/files/document/30atasheetu/en/pdf/typ_PFRA.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

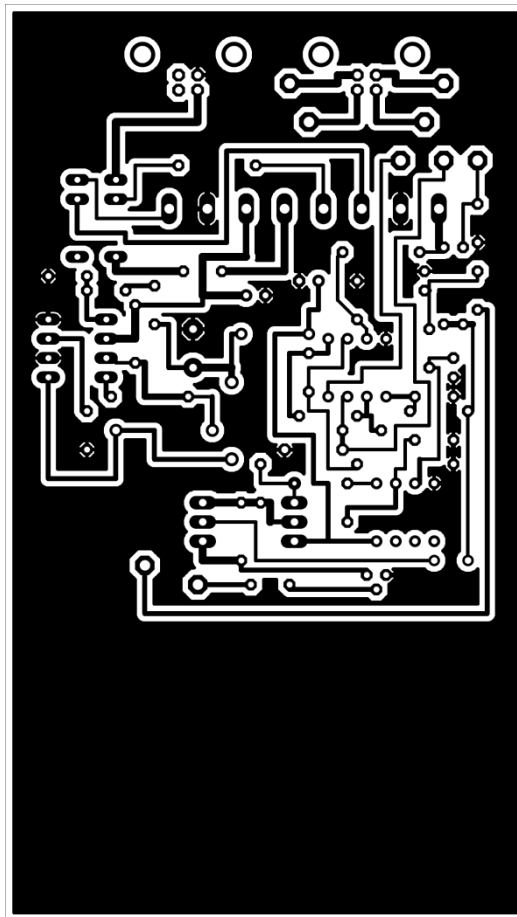
A	Návrh zařízení	32
A.1	Obvodové zapojení	32
A.2	Deska plošného spoje stimulatoru – bottom (strana spojů)	33
A.3	Osazení stimulatoru	34
A.4	Seznam součástek	35
A.5	Přiložené CD.....	36

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení

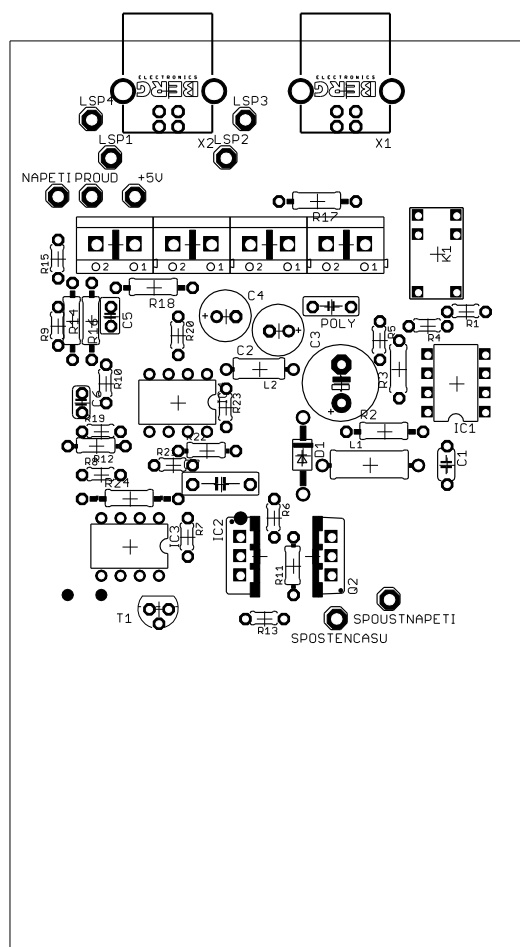


A.2 Deska plošného spoje stimulatoru – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 121 x 68 [mm], měřítko M1:1

A.3 Osazení stimulátoru



A.4 Seznam součástek

Název	Hodnota (typ)	Pouzdro
CÍVKA		AK500/2
C1	1n5	C050-024X044
C2	100u	E2,5-7
C3	220u	E5-10,5
C4	100u	E2,5-7
C5	10n	C025-025X050
C6	10n	C025-024X044
C7	22u	C075-032X103
D1	1N4004	DO41-10
EXT.NAP		AK500/2
IC1	MC34063AP	DIL08
IC2	3-35V	LM317T
IC3	LM358N	DIL08
IC4	LM358N	DIL08
IN-MENICE		AK500/2
K1		G5V1
L1	220u	TFI0410
L2	1u	TFI0307
Q2	IRF4905	TO220BV
R1	2k2	0204/5
R2	180	0207/10
R3	0.55	0207/7
R4	75k	0204/5
R5	10k	0204/5
R6	330	0204/5
R7	51k	0204/5
R8	10k	0204/5
R9	100k	0204/5
R10	100k	0204/5
R11	18k	0204/7
R12	82k	0204/7
R13	4k7	0204/5
R14	82k	0207/10
R15	15k	0204/5
R16	10	0207/10
R17	470	0207/10
R18	82k	0207/10
R19	12k	0204/5
R20	12k	0204/5
R21	68k	0204/5
R22	10k	0204/7
R23	10k	0204/5
R24	68k	0207/12
T1	BC337	TO92
VYSTUP		AK500/2
X1		USB B
X2		USB B
POLY	PFRA.010	C050-025X050

A.5 Přiložené CD

- Zdrojový kód MCU, soubory decod.ino, interrupt.ino, stimulator_1_0.ino
- Zdrojový kód Processing, soubory stimulator_1_0.pde, gui.pde
- Aplikace stimulatoru pro OS linux 32b a 64b, a pro Win OS 32b a 64b spustitelné pouze s připojeným zařízením přes USB.
- Aplikace stimulatoru pro Win OS 32b a 64b spustitelné bez Arduina (ukázka)
- Software Arduino 1.0.5 r2 for Windows open source
- Software Processing 2.2.1 for Windows open source
- PDF verze bakalářské práce
- DPS návrhy stimulatoru ze softwaru Eagle 6.3.0