

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

KONSTRUKCE CESTOVNÍ NABÍJEČKY PRO MOBILNÍ TELEFON

DIPLOMOVÁ PRÁCE

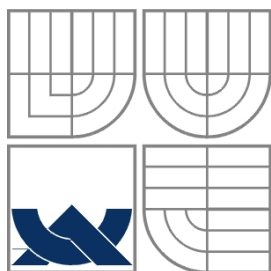
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

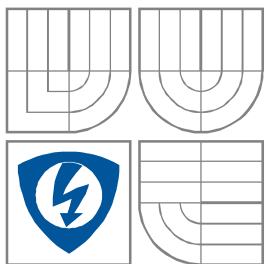
BC. LUKÁŠ STEJSKAL

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

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

KONSTRUKCE CESTOVNÍ NABÍJEČKY PRO MOBILNÍ TELEFON

DESIGN OF TRAVEL CHARGER FOR MOBILE PHONE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

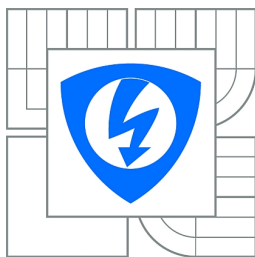
AUTHOR

Bc. Lukáš Stejskal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Vondruš



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Bc. Lukáš Stejskal

ID: 98511

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Konstrukce cestovní nabíječky pro mobilní telefon

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Na základě návrhu sestrojte měnič a ochranné obvody.
2. Sestavte nabíječku a proveďte měření.
3. Zhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 23.9.2010

Termín odevzdání: 23.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Jiří Vondruš

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

V Diplomové práci navrhuji vhodné zapojení měniče pro cestovní nabíječku mobilního telefonu. Součástí práce je také pojednání o dostupných akumulátorech, které lze využít jako zdroj pro napájení navrhovaného měniče.

Abstract

In this thesis suggest the involvement of appropriate driver for mobile phone travel charger. The work is a treatise on the available accumulators, which can be used as a source for the proposed power converter.

Klíčová slova

Alkalické baterie; Baterie; LiIon; L6920; Měnič; Nabíječka; NiCd; NiMH; RAM; Step up

Keywords

Alkaline battery; Battery; Converter; Charger; LiIon; L6920; NiCd; NiMH; RAM; Step up

Bibliografická citace

Bibliografická citace – STEJSKAL, L. *Konstrukce cestovní nabíječky pro mobilní telefon*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 70s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Vondruš.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Konstrukce cestovní nabíječky pro mobilní telefon jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální 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 diplomové práce Ing. Jiřímu Vondrušovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne

Podpis autora



Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
ÚVOD	12
1 AKUMULÁTOR	13
1.1 DRUHY AKUMULÁTORŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE [1].....	13
1.1.1 ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH AKUMULÁTORŮ	13
1.2 ŽIVOTNOST	14
1.3 VYUŽITÍ	14
2 TYPY AKUMULÁTORŮ	16
2.1.1 ALKALICKÉ BATERIE	16
2.1.2 NiCd KADMIOVÝ AKUMULÁTOR	17
2.1.3 NiMH AKUMULÁTOR	19
2.1.4 LITHIOVÉ BATERIE	21
2.1.5 RAM AKUMULÁTOR	23
2.1.6 SROVNÁNÍ AKUMULÁTORŮ.....	26
3 MOŽNOSTI ZAPOJENÍ VÝKONOVÝCH MĚNIČŮ	27
3.1 STEP-UP MĚNIČ.....	27
3.2 JEDNOČINNÝ BLOKUJÍCÍ MĚNIČ:	28
3.3 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ:.....	30
3.4 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ S DEMAGNETIZAČNÍM VINUTÍM.....	31
3.5 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ Z DEMAGNETIZACÍ DO ZENEROVY DIODY	32
3.6 STEP-UP MĚNIČ L6920	33
4 KONSTRUKCE MĚNIČŮ.....	36
4.1 STEP UP MĚNIČ.....	36
4.1.1 DIMENZOVÁNÍ POLOVODIČOVÝCH PRVKŮ:	37
4.2 STEP UP MĚNIČ SE STABILIZÁTOREM 7805	38
4.3 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ	38
4.3.1 NÁVRH IMPULZNÍHO TRANSFORMÁTORU	38
4.3.2 DIMENZOVÁNÍ POLOVODIČŮ:	40
4.4 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ Z DEMAGNETIZACÍ DO ZENEROVY DIODY	41
4.4.1 DIMENZOVÁNÍ POLOVODIČŮ	42
4.4.2 NÁVRH KONDENZÁTORU A TLUMIVKY	42
4.5 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ S DEMAGNETIZAČNÍM VINUTÍM.....	42
4.5.1 DIMENZOVÁNÍ POLOVODIČOVÝCH PRVKŮ:	43
4.6 NÁVRH MĚNIČE L6920.....	44



5 ZDROJ PRO MĚNIČ	46
6 ŘÍZENÍ TRANZISTORU	47
7 NOUZOVÁ NABÍJEČKA MW-MC101	48
8 ZHODNOCENÍ MĚNIČŮ.....	49
8.1 STEP UP MĚNIČ	49
8.2 STEP UP MĚNIČ SE STABILIZÁTOREM	51
8.3 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ	53
8.4 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ S DEMAGNETIZAČNÍM VINUTÍM.....	54
8.5 JEDNOČINNÝ PROPUSTNÝ MĚNIČ S DEMAGNETIZACÍ DO ZENEROVY DIODY	57
8.6 MĚNIČ S INTEGROVANÝM OBVODEM L6920.....	59
8.6.1 VÝSLEDNÁ NABÍJEČKA BY MOHLA VYPADAT NÁSLEDOVNĚ.....	66
ZÁVĚR.....	68
LITERATURA	69



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Popis Alkalické baterie [6]	17
Obrázek 2.2 Popis NiCd akumulátoru [6]	19
Obrázek 2.3 Popis NiMh akumulátoru [6]	21
Obrázek 2.4 Popis Lithiového akumulátoru [6]	23
Obrázek 2.5 Popis RAM akumulátoru [6]	25
Obrázek 3.1 Zvyšující měnič napětí [2]	27
Obrázek 3.2 Průběhy napětí a proudu [2]	28
Obrázek 3.3 Jednočinný blokující měnič [6]	29
Obrázek 3.4 Časové průběhy [6]	29
Obrázek 3.5 Jednočinný propustný měnič [6]	30
Obrázek 3.6 Průběhy veličin [6]	31
Obrázek 3.7 Jednočinný propustný měnič z demagnetizačním vynutím [6]	31
Obrázek 3.8 Průběhy veličin [6]	32
Obrázek 3.9 Jednočinný propustný měnič z demagnetizací do Zenerovy diody [6]	33
Obrázek 3.10 Průběhy veličin [6]	33
Obrázek 3.11 Zjednodušené blokové schéma integrovaného obvodu L6920 [5]	34
Obrázek 3.12 Pin připojení obvodu L6920 [5]	35
Obrázek 3.13 Zapojení silové části obvodu L6920 [5]	35
Obrázek 4.1 Schéma zapojení Step up měniče	37
Obrázek 4.2 Návrh Step up měniče se stabilizátorem 7805	38
Obrázek 4.3 Návrh měniče se Zenerovou diodou	42
Obrázek 4.4 Návrh měniče s demagnetizačním vinutím	43
Obrázek 4.5 Návrh měniče s integrovaným obvodem L6920	45
Obrázek 4.6 Tištěného spoje	45
Obrázek 4.7 Tištění spoj	45
Obrázek 6.1 Astabilní zapojení obvodu s 555	47
Obrázek 7.1 Závislosti výstupního napětí a proudu na čase pro vstupní napětí 1,2V	48
Obrázek 8.1 Závislost veličin na frekvenci	50
Obrázek 8.2 Závislost veličin na střídě	50
Obrázek 8.3 Vykreslení výstupního napětí na čase	51
Obrázek 8.4 Závislost veličin na frekvenci	52
Obrázek 8.5 Závislost veličin na střídě	52



Obrázek 8.6 Vykreslení výstupního napětí na čase	53
Obrázek 8.7 Závislost veličin na frekvenci.....	55
Obrázek 8.8 Závislost veličin na střídě	56
Obrázek 8.9 Výstupní napětí v závislosti na čase.....	56
Obrázek 8.10 Závislost veličin na frekvenci.....	58
Obrázek 8.11 Závislost veličin na střídě	58
Obrázek 8.12 Výstupní napětí v závislosti na čase.....	59
Obrázek 8.13 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 3V.....	61
Obrázek 8.14 Závislosti veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,8V.....	62
Obrázek 8.15 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,6V.....	62
Obrázek 8.16 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,4V.....	63
Obrázek 8.17 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,2V.....	63
Obrázek 8.18 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 3V a výstupní proud 400mA	64
Obrázek 8.19 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,8V a výstupní proud 400mA	64
Obrázek 8.20 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,6V a výstupní proud 400mA	65
Obrázek 8.21 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,4V a výstupní proud 400mA	65
Obrázek 8.22 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,2V a výstupní proud 400mA	66
Obrázek 8.23 Jedna varianta nabíječky	66
Obrázek 8.24 Druhá varianta nabíječky bez krytu.....	67
Obrázek 8.25 Pohled na nabíječku z čelní strany	67



SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 2.1 Srovnání jednotlivých parametrů různých akumulátorů</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 4.1 Parametry jádra FT 50-70</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 7.1 Naměřené hodnoty.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 8.1 Naměřené hodnoty.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 8.2 Naměřené hodnoty.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 8.3 Velikost ekvivaletního odporu na výstupu.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 8.4 Naměřené hodnoty.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 8.5 Naměřené hodnoty.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 8.6 Naměřené hodnoty pro výstupní napětí 3V a 2,8V.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 8.7 Naměřené hodnoty pro výstupní napětí 2,6V a 2,4V.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 8.8 Naměřené hodnoty pro výstupní napětí 2,2V</i>	<i>61</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Jednotka	Popis
Q	[Ah]	Elektrický náboj
U	[V]	Elektrické napětí
I	[A]	Elektrický proud
R	[Ω]	Elektrický odpor
L	[H]	Indukčnost
C	[F]	Kapacita
T	[s]	Perioda
f	[Hz]	Frekvence
s	[-]	Střída
I_μ	[A]	Magnetizační proud
P	[W]	Výkon
A_L	[H/závit ²]	Konstanta jádra
B	[T]	Magnetická indukce
μ	[-]	Permeabilita
S	[mm ²]	Průřez jádra
L	[mm]	Délka střední siločáry



ÚVOD

Cílem diplomové práce je navrhnout zvyšující měnič, který bude sloužit jako přenosná nabíječka mobilních telefonů.

Napětiovým zdrojem měniče budou běžně dostupné akumulátory velikosti AA či AAA. V dnešní době můžeme mluvit o 5 typech článků: niklokadmiové (NiCd), niklometalhydridové (NiMH), lithioiontové (LiIon), alkalické a RAM. Všechny jmenované druhy převádějí chemickou energii na elektrickou. Mají tři základní komponenty: kladnou (anoda) a zápornou elektrodu (katoda) a mezi nimi elektrolyt. Při návrhu akumulátoru, musíme znát alespoň tyto základní pojmy: kapacita, poměrný nabíjecí proud, vnitřní odpor a paměťový efekt.

Akumulátory, jako zdroje stejnosměrného napětí se využívají v různých elektrických zařízeních, a proto je i nedílnou součástí jejich dobíjení. Nabíjet baterie můžeme různými způsoby například ruční nabíječky – dynamo, solární nabíječky, auto nabíječky, stolní nabíječky. Při volbě nabíječky je důležité vědět, jaké velikosti akumulátoru je nabíječka schopna dobít, a dobíjecí proud a také druh baterie (nelze stejnou nabíječkou vždy dobíjet různé druhy akumulátorů).

Samotný zvyšující (Step up) měnič je postaven v několika podobách a to: Obyčejný Step up měnič, Jednočinný propustný měnič s demagnetizací do Zenerovy diody, Jednočinný propustný měnič s demagnetizačním vinutím a měnič s integrovaným obvodem L6920. Dané měniče umí zvyšovat napětí ze vstupního napětí 2,2V na požadovaných 5V na výstupu.

Požadavky na mobilní nabíječku jsou, aby byla co nejmenší, pracovala ze dvou tužkových baterií velikosti AA (vycházíme tedy ze vstupního napětí cca 3V), na výstupu požadujeme 5V a proud cca 400mA.

1 AKUMULÁTOR

Akumulátor považujeme za zdroj elektrické energie, pro opakované uchování elektrické energie. Sekundární články je potřeba nejdříve nabít před použitím, jako zdroj stejnosměrného proudu. Rozdíl mezi sekundárními a primárními články je, že primární články dodávají energii ihned po svém sestavení a povětšinou, je není možné dobíjet, jsou to např. zinkouhlíkové baterie. Pokud uvažujeme použití sekundárních akumulátoru, musíme se zamyslet, kde budou potřeba, jaký bude jejich denní provozní režim a jak často je budeme během roku využívat.

V nabitém stavu je u záporného pólu přebytek elektronů, což má za následek elektrické napětí mezi oběma póly. Při uzavření obvodu začne kladný pól přitahovat elektrony, vzniká tak elektrický proud a akumulátor se pozvolna vybíjí. Elektrolyt je zpravidla roztok, který umožňuje pohyb elektronů mezi elektrodami uvnitř akumulátoru. Jakmile se přebytek elektronů u záporné elektrody přenesse, je akumulátor vybit. Poté musíme baterie znovu nabít.

1.1 Druhy akumulátorů elektrické energie [1]

Akumulátory elektrické energie pracují na různých principech například tepelná, chemická či jiná akumulace energie.

1.1.1 Rozdělení elektrických akumulátorů

1.1.1.1 Podle typu elektrolytu

- s kyselým elektrolytem
- se zásaditým elektrolytem
- s bezvodým elektrolytem

1.1.1.2 Podle provedení

- otevřené
- uzavřené (též hermetické nebo řidčeji plynotěsné)

1.1.1.3 Podle principu

- Olověný (Pb)
- Nikl-kadmiový (NiCd)
- Nikl-metal hydridový (NiMH)
- Nikl-železný (NiFe)
- Nikl-zinkový (NiZn)
- Stříbro-zinkový
- Lithium-iontový (Li-ion)
- Lithium-polymerový (Li-Pol)
- Lithium-FeSO₄ (Li-FeSO₄)
- Sodíkovo-sírový (NaS)
- Ostatní

1.1.1.4 Podle použití

- průmyslové akumulátory
 - standardní aplikace
 - vojenské aplikace
 - pro vysoké odběrové proudy
 - rychlonabíjecí
 - pro trvalé dobíjení
 - pro vysoké teploty
 - s MBU (Memory Back-up)
- Běžné akumulátory
 - Telefony
 - Notebooky
 - Domácí spotřebiče
 - Videokamera

1.1.1.5 Podle tvaru

- válcové
 - A AA
 - AA
 - A
 - ostatní válcové (A f, Cs, C, D, F, SF, N, ...)
- prizmatické
 - malé prizmatické
- diskové (knoflíkové)
 - podle průměru (např. Ø 6,8 mm, Ø 11,5 mm, Ø 15,5 mm, Ø 25 mm, ...)
 - oválné
- hranolovité (+ jejich sestavy)

1.1.1.6 Podle technologie výroby

- stáčené desky (sintrované, plastem pojené, kombinované)
- ploché desky (lisované, sintrované, plastem pojené, kombinované)

1.2 Životnost

Životnost akumulátorů se liší podle druhu. Např. u většiny elektrochemických akumulátorů se pohybuje řádově ve stovkách nabíjecích/vybíjecích cyklů (např. NiMH akumulátory 500–1000 cyklů). Po tuto dobu vybíjení a nabíjení postupně klesá kapacita akumulátoru kvůli chemické korozi jeho elektrod. Na životnost má značný vliv způsob vybíjení a nabíjení a také provozní teplota.

1.3 Využití

Akumulátory se využívají u mnoha jednoduchých i složitých strojů jako pomocný zdroj energie. Olověné akumulátory jsou používány u každého automobilu jako zdroj pro startér, či chod jiných objektů v automobilu. Akumulátory jsou tedy využívány, jak zdroj pro chod různých



točivých strojů (např. akumulátorové vozíky), či jako zdroj různých statických objektů ve spotřební elektronice (např. světla, telefony, notebooky, UPS). Akumulátory jsou také součástí nouzových svítidel. Nouzová svítidla zajišťují osvětlení při výpadku dodávek elektrické energie. U tramvají zajišťují akumulátory nouzový pojezd - při průjezdu mycí linkou není normální napájení z troleje možné.

2 TYPY AKUMULÁTORŮ

- Alkalické baterie
- NiCd kadmiový akumulátor
- NiMH baterie
- Lithiové baterie
- RAM akumulátory

2.1.1 Alkalické baterie

2.1.1.1 Historie:

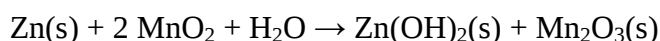
Na počátku vynalezení byl kanadský inženýr Lewis Urry v roce 1950, když pracoval pro Eveready Baterie společnost. Alkalický článek je zdroj elektrické energie založený na chemické reakci mezi zinkem a oxidem manganičitým (Zn/MnO_2). Ve srovnání s tradičními bateriemi uhlík/zinek mají alkalické články větší životnost.

2.1.1.2 Princip:

Baterie má elektrolyt z hydroxidu draselného, namísto kyseliny chloridu amonného nebo chloridu zinečnatého elektrolytu zinko-uhlíkové baterie, které mají stejné jmenovité napětí a fyzické velikosti. Jiné bateriové systémy také používají alkalické elektrolyty, ale používají se různé aktivní materiály pro elektrody.

Baterie se skládá z ocelového válce, který je na obou stranách uzavřen destičkou z niklu. Uvnitř článku je katoda z oxidu manganičitého, která je membránou oddělena od anody tvořené práškovým zinkem v elektrolytu (hydroxid draselný/voda).

2.1.1.3 Rovnice pro reakci:



2.1.1.4 Parametry

Napětí:

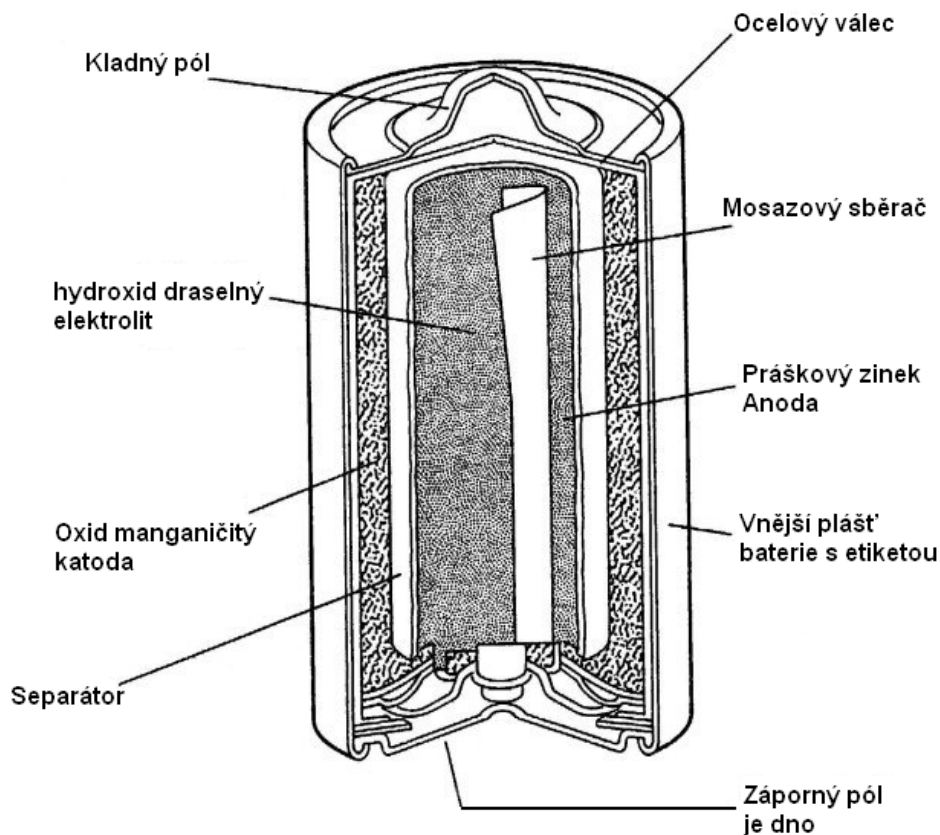
Jmenovité napětí alkalických článků je 1,5 V. Plně nabitá se může pohybovat v rozmezí 1,5-1,65V v závislosti na zvoleném obsahu elektrolytu. Průměrné napětí při zátěži se nám pohybuje mezi 1,1 - 1,3 V. Vybitá baterie má napětí mezi 0,8 a 1V.

Kapacita:

Nemají standardní velikost kapacity. Kapacita alkalických baterií může dosahovat až 2400mAh.

Vnitřní odpor:

Velmi nízká. Zůstává téměř konstantní až do konce svého života.



Obrázek 2.1 Popis Alkalické baterie [6]

2.1.2 NiCd kadmiový akumulátor

2.1.2.1 Historie:

Prvním, prakticky použitelným, alkalickým akumulátorem se stal na počátku 20 století tzv. Edisonův železoniklový akumulátor, jehož elektrolytem byl roztok hydroxidu sodného (NaOH). Záměnou sloučenin železa jako aktivní složky záporné elektrody kadmíem vytvořil Švéd W. Jungner mnohem dokonalejší niklkadmiový akumulátor. Průmyslová výroba hermetických akumulátorů se rozvinula po druhé světové válce především ve Francii a v Německu. Namísto roztoku NaOH je jako elektrolyt NiCd akumulátorů používán ve většině případů vhodnější roztok hydroxidu draselného (KOH).

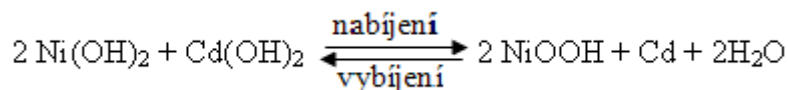
2.1.2.2 Princip:

Niklkadmiový akumulátor je složen ze tří vrstev. Kladnou elektrodu tvoří hydroxid niklu, zápornou (jedovaté) kadmium. Obě elektrody odděluje separátor obsahující elektrolyt (hydroxid draselný).

Vedle elektrochemicky aktivní složky obsahují elektrody další materiály, které vytvářejí vodivou složku, nosný skelet a proudový kolektor. Elektrolytem hermetických akumulátorů je ve většině případů hydroxid draselný (KOH), rozpuštěný ve vodě. Mezi elektrody jsou vloženy

separátory, které oddělují kladný a záporný elektrodový systém a současně slouží jako nosič elektrolytu. Při nabíjení se aktivní složka kladné elektrody, hydroxid nikelnatý, mění na nikloxihydroxid (dvojmocný nikl přechází na trojmocný) a hydroxid kademnatý na kovové kadmium. Tyto děje však mohou probíhat pouze do plného nabití elektrod.

2.1.2.3 Rovnice:



Ni-Cd je druh galvanického článku, který se vyrábí buď se zaplavenými elektrodami a kapalným elektrolytem (velké staniční baterie) nebo jako hermetizovaný (akumulátory do přístrojů jako jsou akumulátorové vrtačky).

Těmto článkům nevadí skladování ve vybitém stavu a s tím související odolnost vůči hlubokému vybití. Patříčnou nevýhodou ve srovnání s Ni-MH a Li-ion akumulátory je jeho relativně nižší měrná kapacita. Další nevýhodou je jedovatost kadmia, z něhož se skládá jedna z jeho elektrod a tedy nezbytnost sběru opotřebovaných Ni-Cd akumulátorů (stejně i u Pb akumulátorů). Svými vlastnostmi se podobá novějšímu Ni-MH akumulátoru.

2.1.2.4 Parametry:

Napětí:

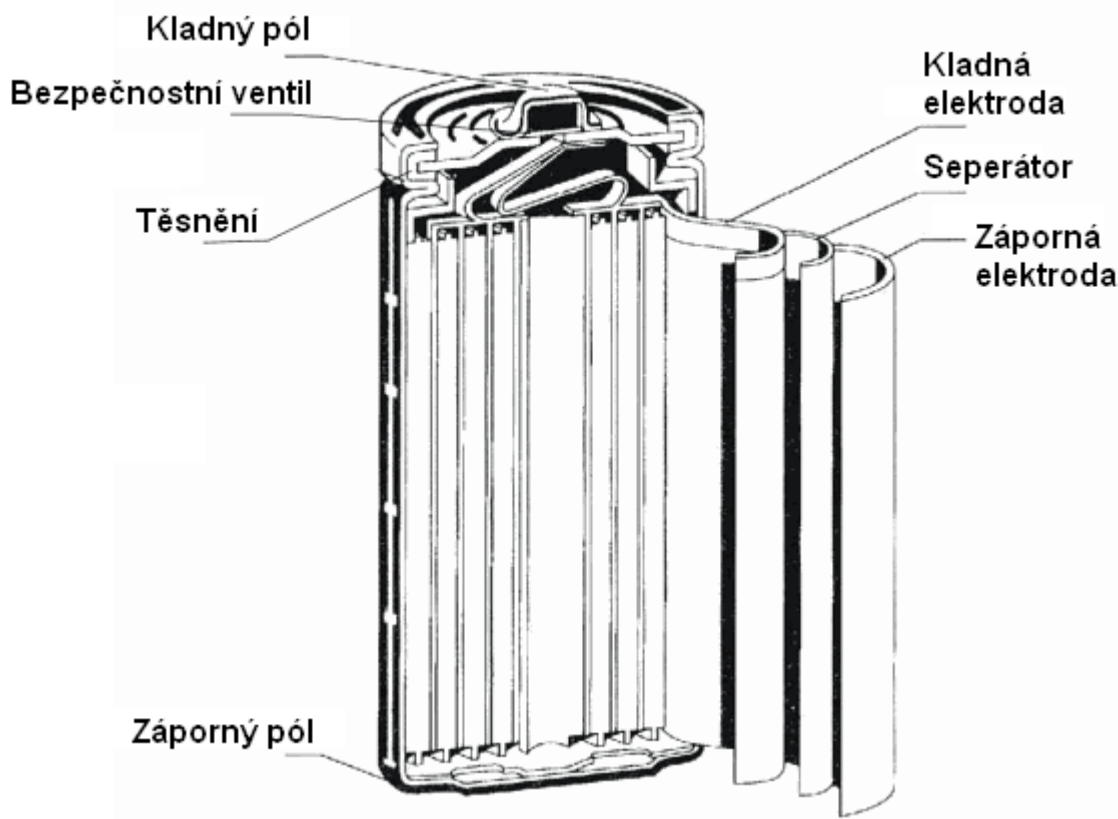
Jmenovité napětí jednoho článku je 1,2 V. V plně nabitém stavu dosahuje napětí k 1,35 V a vybitý článek má 0,8-1,0 V. Je vhodné baterie vybíjet až na hodnotu 0,8 – 0,9 a pak je důkladně nabít. Spousta nabíječek tento cyklus provádí a má to v sobě nastaveno. Pod hranici těchto hodnot se nedoporučuje vybíjet, mohlo by dojít k poškození či přepólování baterie.

Kapacita:

Nedosahují velkých kapacit do 1100mAh.

Vnitřní odpor:

Malý vnitřní odpor asi 10 až 15mΩ. Takzvané slinuté články, zvláštní forma NiCd akumulátoru s impedancí jen 4 až 10mΩ, se vyskytují ve spotřebičích s velmi vysokým odběrem proudu, jako jsou akumulátorové vrtačky a profesionální fotografické blesky. Ani po více než 1500 nabíjecích cyklech se vnitřní odpor dobře udržovaného niklokadmiového akumulátoru prakticky nezvyšuje.



Obrázek 2.2 Popis NiCd akumulátoru [6]

2.1.3 NiMh akumulátor

2.1.3.1 Historie:

Intenzivní výzkum a vývoj NiMH akumulátorů byl zahájen v osmdesátých letech minulého století, hlavním důvodem byly požadavky ekologů na náhradu škodlivého kadmia vhodnějším materiálem. Ke komerčnímu využití došlo v druhé polovině devadesátých let. První výrobky trpěly řadou „dětských nemocí“, hlavně velmi vysokým samovybíjením, zhoršováním funkceschopnosti během skladování a velice vysokou cenou. Velmi rychle však nastalo a stále pokračuje zlepšování užitečných vlastností a NiMH akumulátory se staly běžným výrobkem, především v mobilní technice.

Tak jako u NiCd akumulátorů se v počátcích NiMH vyráběla pouze jedna výrobní řada. Dnes se však již setkáváme se specializací těchto akumulátorů pro určitá použití. Již existují výrobní řady pro zvýšené teploty nebo pro trvalé dobíjení, pro extrémní výkony, pro rychlé nabíjení nebo se snížením samovybíjením. Ve srovnání s jemu podobným nikl-kadmiovým akumulátorem má přibližně dvojnásobnou kapacitu. Hlavními důvody jeho velkého rozšíření je jeho značně velká kapacita a schopnost dodávat poměrně velký proud spolu s přijatelnou cenou.

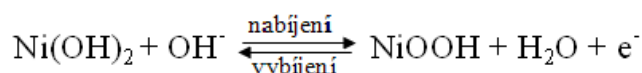


2.1.3.2 Princip:

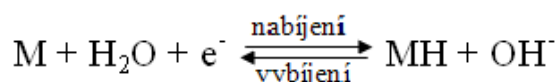
Záporná elektroda je tvořena speciální kovovou slitinou, která s vodíkem vytváří směs hydridů neurčitého složení. Tato slitina je většinou složena z niklu, kobaltu, manganu, případně hliníku a některých vzácných kovů – lanthanu, ceru, neodymu, praseodymu. Kladná elektroda je z oxid-hydroxidu niklitého – NiO(OH) a elektrolytem je vodný roztok hydroxidu draselného.

2.1.3.3 Rovnice:

Kladná elektroda:



Záporná elektroda:



Parametry:

Napětí:

Jmenovité napětí je 1,2 V. Napětí (naprázdno) plně nabitého článku je 1,4 V; napětí vybitého článku je 1,0 V.

Kapacita:

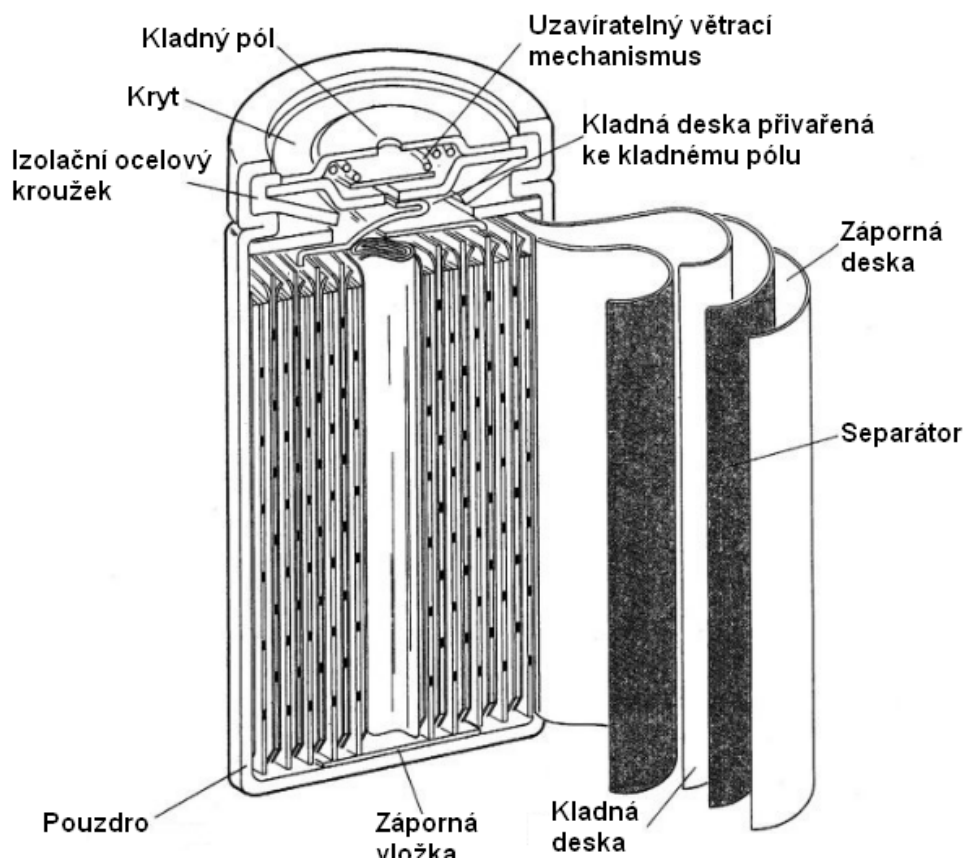
Tužkové články NiMH dnes dosahují kapacity kolem 2200 mAh

Vnitřní odpor:

Vnitřní odpor bývá na počátku mezi 20 a 30 mΩ, po nějakých 300 až 400 nabíjecích cyklech se však zpravidla zvyšuje zhruba o 50 % - pak už se akumulátor rychle unavuje a patří do sběru.

Ostatní:

Nevýhodou tohoto akumulátoru je dosti velká úroveň samovybíjení při pokojové teplotě. Při nižších teplotách se samovybíjení podstatně sníží. Existují i NiMH akumulátory s nízkou úrovní samovybíjení. Tento typ NiMH zachová okolo 75% energie po roce při teplotě okolo 20 °C. Toho využívají výrobci a dodávají tyto akumulátory již nabitě. U těchto baterií je výrazně potlačen paměťový efekt než u NiCd.



Obrázek 2.3 Popis NiMh akumulátoru [6]

2.1.4 Lithiové baterie

2.1.4.1 Historie:

Primární lithiové články, vynalezené v polovině 60. let minulého století, se již od začátku vyznačovaly vysokou měrnou energií a kapacitou, velice nízkým samovybíjením a četnými dalšími příznivými vlastnostmi. Postupem času, se pak po mnohých pokusech ukázalo, že jsou vyrobitelné i v dobíjecí verzi.

V polovině 70. let začaly pokusy, kde kladnou elektrodou byly sulfidy kovů a zápornou elektrodou kovové lithium. Výsledky však nebyly uspokojivé, protože docházelo ke korozi elektrod. Dalším problémem bylo, že při nabíjení malým proudem ($\approx 0,05 I_t$) mělo lithium snahu tvořit jehličky, které pak perforovaly separátor a docházelo, tak k vnitřním zkratům akumulátoru nebo tvořilo vysoce reaktivní houbovitou hmotu o velkém povrchu, která spouštěla nepředvídatelné teplotní pochody.

V začátku 80. let začaly pokusy s články, kde zápornou elektrodou byly sloučeniny LiWO_2 , $\text{Li}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ nebo Li_9MoSe_6 jako zdroj lithiových iontů Li^+ a kladnou elektrodou sloučeniny titanu, wolframu, niobu, vanadia nebo molybdenu. Výsledky však nebyly uspokojivé, protože články měly nízké napětí (1,8 V, 2,7 V), nízkou kapacitu a energeticky náročnou, komplikovanou nebo drahou výrobu.

Velký pokrok přišel v březnu 1990, kde zástupci firmy SONY představili novou technologii, která využívala jako aktivní materiál pro zápornou elektrodu směsi grafitu (uhlíku) obohaceného lithiem a polyolefinů. Možnost elektrochemického vložení iontů Li^+ do grafitu (interkalace) byl znám již od roku 1975, ale toto bylo první praktické využití.

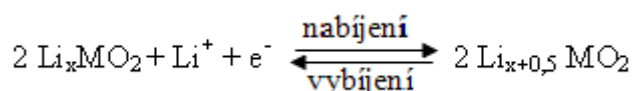
2.1.4.2 Princip:

Lithium-iontové baterie využívají různých katod a elektrolytů. Společné využití kombinace anodu lithium (Li) ionty rozpuštěné v uhlíku nebo grafitu a katodou lithium-oxidu kobaltu (LiCoO_2) nebo lithium mangan-oxid (LiMn_2O_4) v tekutém elektrolytu sůl lithia. Vzhledem k tomu, že používají tekutý elektrolyt, jsou lithium-iontové baterie omezeny ve tvaru buď hranolovitým (obdélníkovým) nebo válcovým. Válcová forma má podobnou konstrukci na jiné válcové dobíjecí baterie, jako na levé straně obr. 3.4. Hranolová baterie má anodu a katodu vloženou do obdélníkové skříně na obrázku 3.4 vpravo vidíme způsob výstavby.

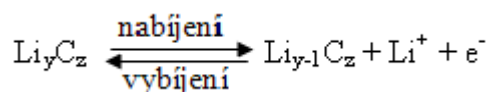
2.1.4.3 Rovnice:

Záleží na sloučeninách elektrod, ale obecně se dá vyjádřit:

Kladná elektroda:



Záporná elektroda:



2.1.4.4 Parametry:

Napětí:

V závislosti na složení se napětí článku pohybuje od 1,5V do 3,7V.

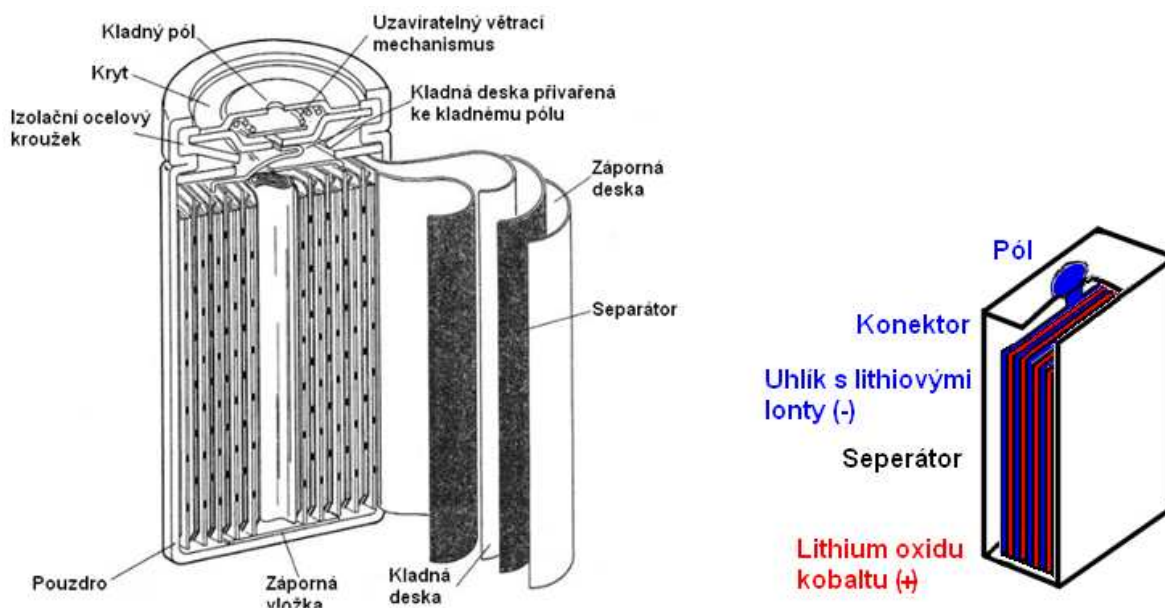
Kapacita:

Dosahují vysokých kapacit až 4000 mAh.

Ostatní:

Lithiové články se používají všude tam, kde je potřeba vysoká životnost, jako jsou například kardiostimulátory. Používá se vysoce specializovaných lithiových baterií s životností 15 a více let. V méně kritických aplikacích se využívá levnějších technologií.

Nejčastěji používaný článek využívá kovového lithia jako anody a oxidu manganičitého jako katody. Elektrolytem je lithiová sůl rozpuštěná v organickém rozpouštědle.



Obrázek 2.4 Popis Lithiového akumulátoru [6]

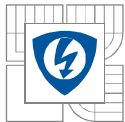
2.1.5 RAM akumulátor

2.1.5.1 Historie:

Za nejdokonalejší technologie ve výrobě akumulátorů tohoto druhu je považován RAM akumulátor vyvinutý výzkumným týmem Battery Technologies Inc. (BTI) v Kanadě, pod vedením profesora Karla Kordesche, autora původní technologie alkalické baterie. Objevují se popřípadě, pod komerčním názvem Pure Energy. Nabíjecí alkalické články fungující na bázi oxidu manganického (MnO_2), spojeného s alkalickým kovem, nejčastěji lithiem (Li-MnO_2). Vývoj těchto článků v počátcích byla usměrňována právě pro potřeby přístrojů s LCD displejem, které jako zdroj používaly jeden článek, pro pagery nebo jiné přístroje jako kalkulačky apod. Stáří akumulátoru se dá vysledovat z napětí na článku, které po garantovaném počtu cyklů (20-30 nabytí) klesá k 1,2V. Při napětí 1,2V lze akumulátor nadále používat obdobně jako klasický NiMh akumulátor.

Vyrábí se v základních velikostech:

- AAA
- AA
- C (z paralelně řazených článků AAA)
- D (z paralelně řazených článků AA)



2.1.5.2 Princip:

- Katoda - je tvořena slisovanými kroužky oxidu manganičitého (MnO_2), nasyceného grafitem za účelem zvýšení vodivosti. Tyto kroužky jsou zalisovány do poniklovaného ocelového kalíšku, tvořícího pouzdro a zároveň kladný vývod článku. Katoda dále obsahuje přísady umožňující opakované nabití. Izolace vývodu katody obsahuje ztenčené místo, které umožňuje únik plynů, vzniklých při nabíjení napětím vyšším než 1,65 V při případném nesprávném nabíjení v nabíječkách pro jiné typy akumulátorů. Při tom však dojde zoxídováním anody ke znehodnocení článku.
- Anoda - žele, nasycené práškovým zinkem, probíhá na ní oxidační reakce.
- Separátor (elektrody) - konstrukční část článku vyrobená z materiálu prostupného pro ionty, který uvnitř článku zabraňuje elektrickému kontaktu mezi elektrodami opačné polarity, ale současně umožňuje kontakt elektrod s elektrolytem. Separátor – netkaná textilie a celofán

2.1.5.3 Parametry:

Napětí:

Napětí jednoho článku je 1,5V a prosperují nízkým samovybíjením.

Ostatní:

Používány jsou v nízko odběrových zařízeních. Zcela nevhodné jsou pro napájení přístrojů vyžadujících střední nebo větší proudy, jako jsou hračky, notebooky, občanské radiostanice, vysílače pro řízení modelů apod. Pro nabíjení RAM baterií se používají speciální nabíječe, což jsou v podstatě zdroje konstantního napětí (1,6 až 1,65 V) s omezením proudu.

RAM články jsou velice náchylné na vybíjení pod hranici 0,9 V. U vícečládkových aplikací je tato hranice špatně indikovatelná a proto dochází ke zničení baterie.

Hlavní omezení RAM článků:

- zatěžování pouze malým proudem
- Pro nabíjení je potřeba speciální nabíječky. Nabíječka nabíjí každou baterii samostatně. Po nabití může článek v nabíječce zůstat a je trvale dobíjen udržovacím proudem.
- článek má garantované vlastnosti pro cca. 20-30 nabití. Znamená to, že po dvaceti plných vybitích se začne chovat obdobně jako NiMh akumulátor. Jeho napětí poklesne na 1,2 V na článek.

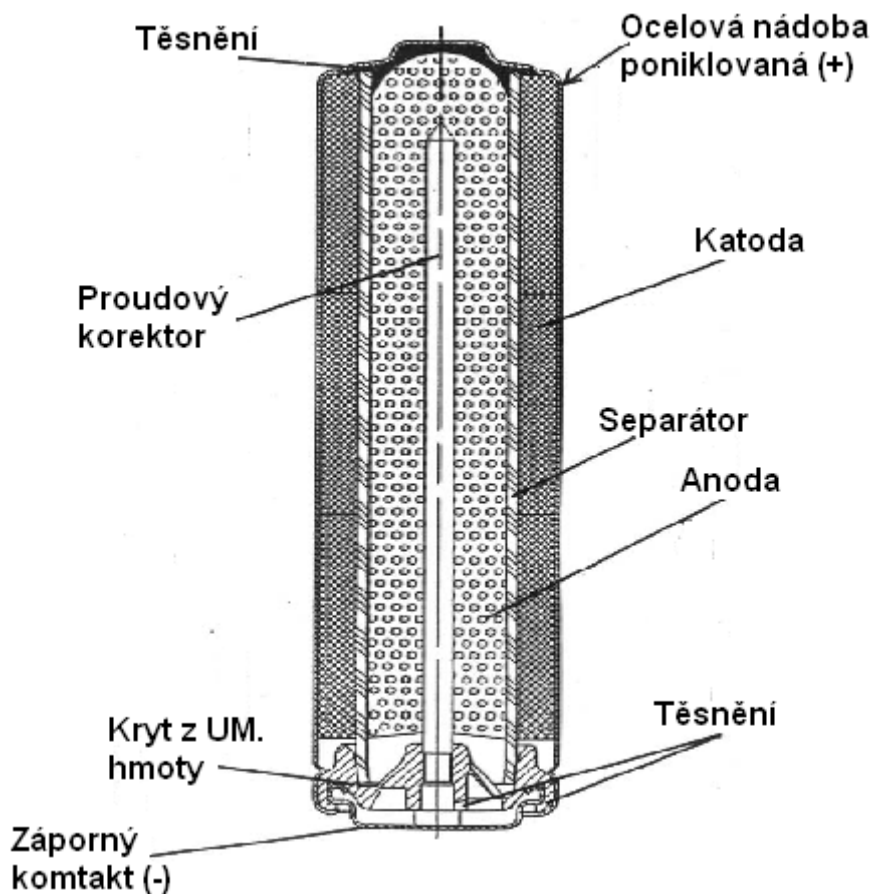
Vlastnosti RAM článků Pure Energy:

- prodávají se plně nabitě
- netrpí téměř vůbec samovybíjením a vydrží proto v nabitém stavu 4-5 roků, na rozdíl od článků NiCd a NiMH
- netrpí paměťovým efektem. Je vhodné dobíjet co nejčastěji, což má příznivý vliv na jejich celkovou životnost. Čím dříve je totiž započato jejich nabíjení, tím menší chemické změny v nich nastanou a tím vyšší kapacitu si uchovávají pro další cyklus

- napětí 1,5 V
- mají nejvyšší počáteční kapacitu ze všech cenově dostupných akumulátorů (1650mAh u tužkového článku)
- snášejí vysoké provozní i nabíjecí teploty (až 60°C), což umožňuje, kromě jiného, i jejich nabíjení na přímém slunci, například v solárních nabíječkách
- jsou vyráběny špičkovou technologií
- jsou ekologicky naprosto "čisté" a je tudíž možné je likvidovat prostým zahazením do odpadkového koše
- dlouhá skladovatelnost
- dodávané jsou v rozměrech R6 AA (tužková) a R03 AAA (mikrotužková baterie)

Pure Energy RAM XL

- mají větší životnost o 80%
- vydrží v nabitém stavu 4-7 roků
- mají zvýšený minimální počet cyklů z 25 na 50
- mají počáteční kapacitu 2000mAh u tužkového článku



Obrázek 2.5 Popis RAM akumulátoru [6]



2.1.6 Srovnání akumulátorů

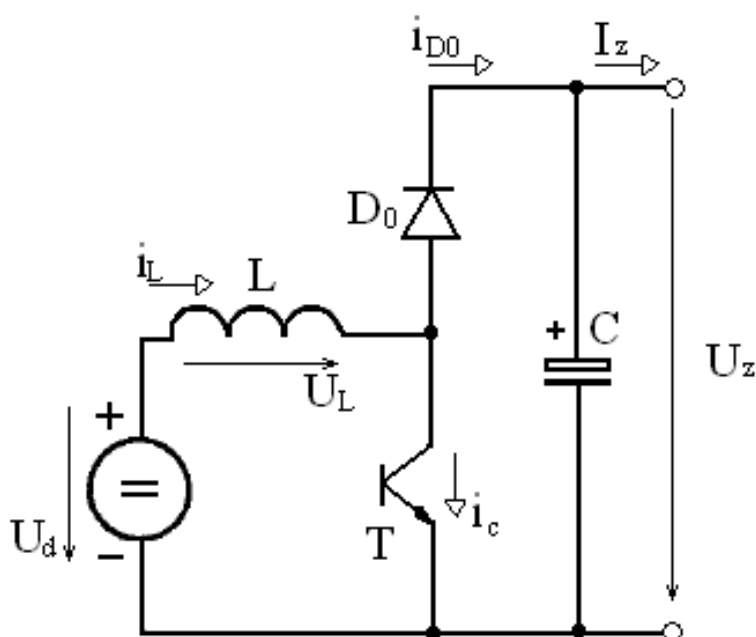
Tabulka 2.1 Srovnání jednotlivých parametrů různých akumulátorů

Paramater	Alkalické baterie	Akumulátory NiCD	Akumulátory NiMH	RAM akumulátory	RAM akumulátoryXL	Lithiové baterie
Jmenovité napětí [V]	1,5	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5 - 3,7
Napětí plného článku [V]	1,5 - 1,65	1,35	1,4	1,63	1,63	-
Napětí vybit. Článku [V]	0,8 - 1	0,8 - 1	1	1	1	-
Kapacita [mAh]	až 2400	500-1100	1500-2400	1400-1600	2000	4000
Počet nabíjecích cyklů	1	500-700	300-400	25-200	50-200	1000
Zachování kapacity	7 let	2 měsíce	1 měsíc	5 let	7 let	10 let
Paměťový efekt	Ne	ANO	minimálně	NE	NE	NE
Okamžitě použitelné	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO

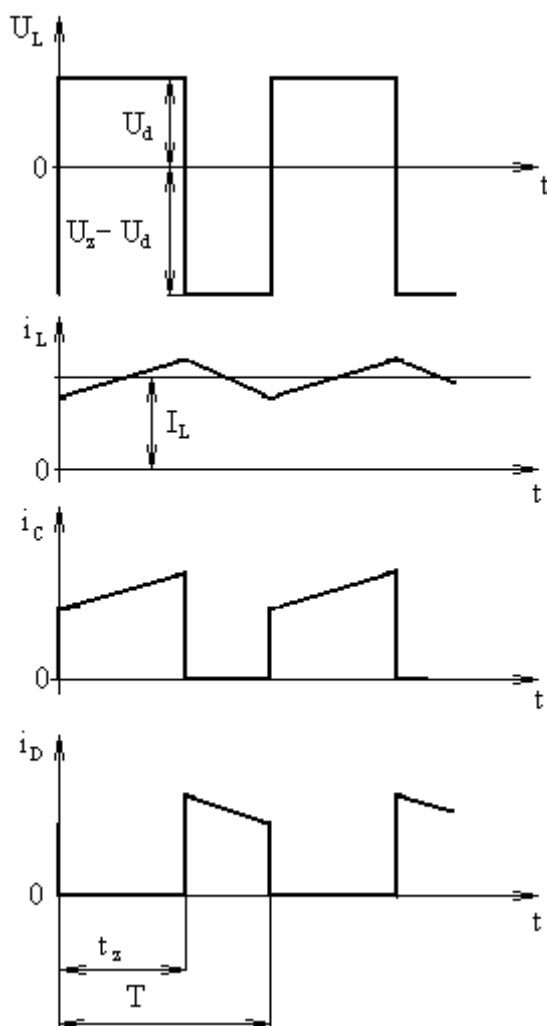
3 MOŽNOSTI ZAPOJENÍ VÝKONOVÝCH MĚNIČŮ

3.1 Step-up měnič

Nejjednodušší zapojení zvyšujícího měniče (step-up) je na obr. 3.1. Měnič čerpá energii z napětí U_d při zapnutém tranzistoru T a současně se energie akumuluje v tlumivce L . V době vypnutí tranzistoru T je energie z tlumivky L přenášena přes diodu D_0 do kondenzátoru C resp. do paralelně připojené zátěže. Při předpokladu $L \rightarrow \infty$, $C \rightarrow \infty$ leží rezonanční kmitočet LC obvodu hluboko pod pracovním přepínacím kmitočtem tranzistoru. Měnič pracuje v režimu zvyšování: $U_z \geq U_d$. Pokud by nebyla splněna podmínka, tak by nám proud tlumivkou i_L mohl růst do nekonečna nezávisle na střídě tranzistoru.



Obrázek 3.1 Zvyšující měnič napětí [2]



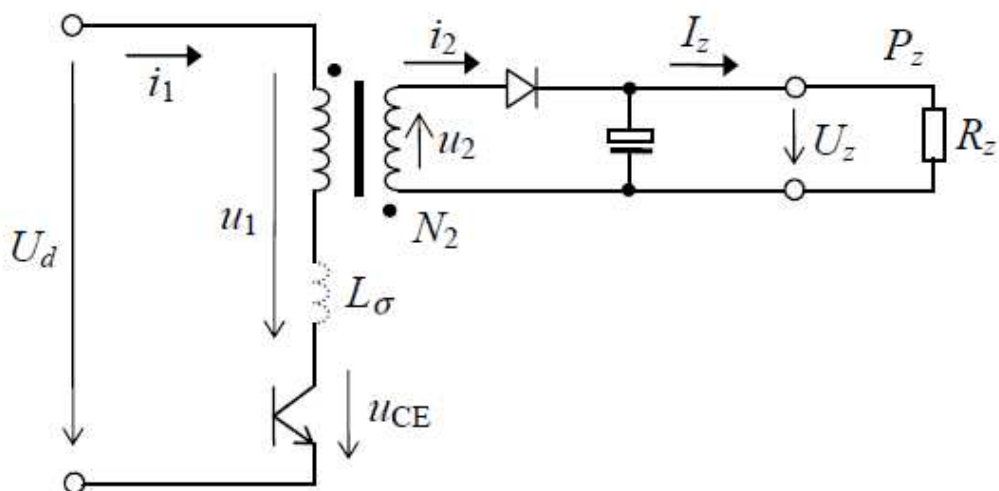
Obrázek 3.2 Průběhy napětí a proudu [2]

3.2 Jednočinný blokující měnič:

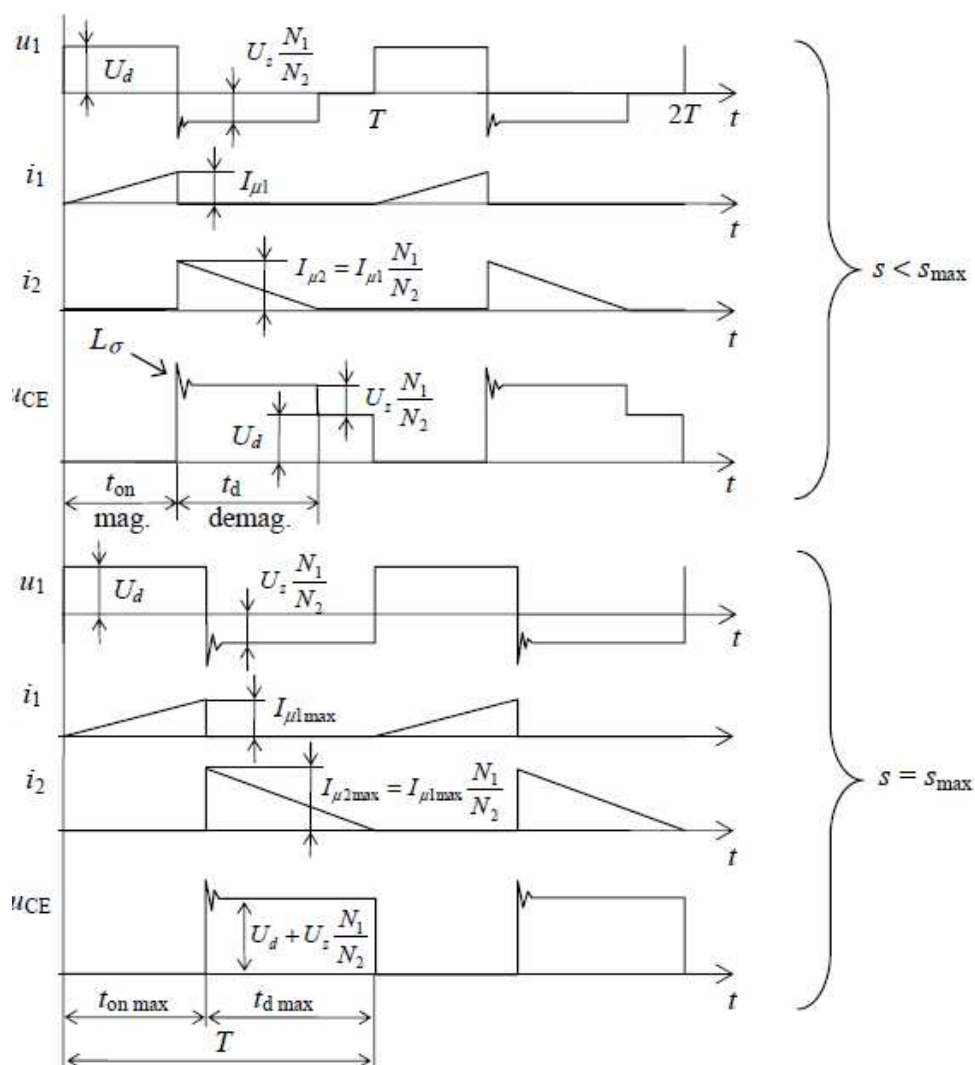
Tento typ měniče se liší od propustného tím, že energie je přenášena ze vstupu na výstup v době vypnutí tranzistoru a ne, jak je to u propustných měničů v době zapnutí tranzistoru.

Základní zapojení jednočinného blokujícího měniče vidíme na obr. 3.3 a jeho důležité veličiny jsou zobrazeny na obr. 3.4.

Blokující měnič pracuje se střídou menší, jak $s_{\max}$ nebo se střídou rovnu $s_{\max}$. Po dobu sepnutého tranzistoru t_{on} probíhá magnetizace transformátoru vstupním proudem i_1 pomocí primárního vinutí. Dioda na sekundární straně transformátoru je po tuto dobu nečinná a zátěž odebírá napětí z kondenzátoru. Při vypnutí tranzistoru v době t_d probíhá demagnetizace transformátoru pomocí sekundárního vinutí proudem i_2 . Demagnetizace probíhá přes diodu a pomocí napětí na kondenzátoru U_z .



Obrázek 3.3 Jednočinný blokující měnič [6]

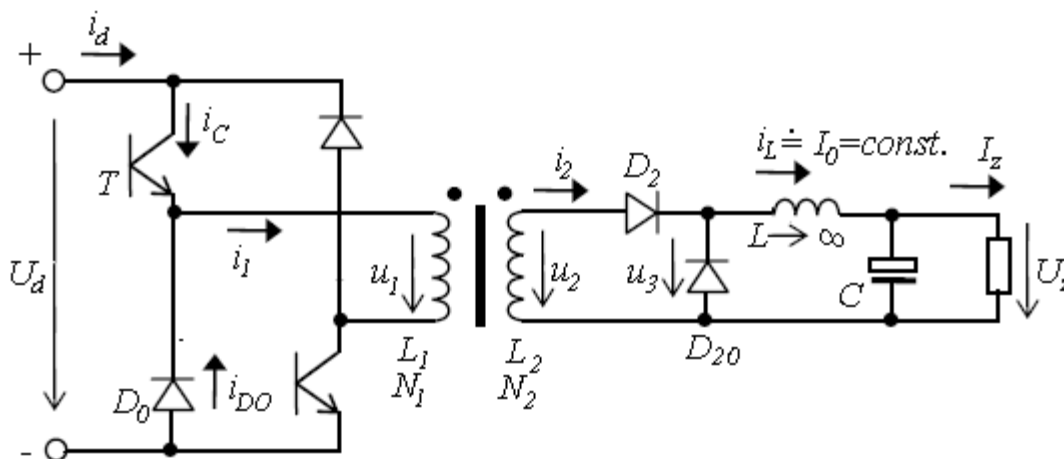


Obrázek 3.4 Časové průběhy [6]

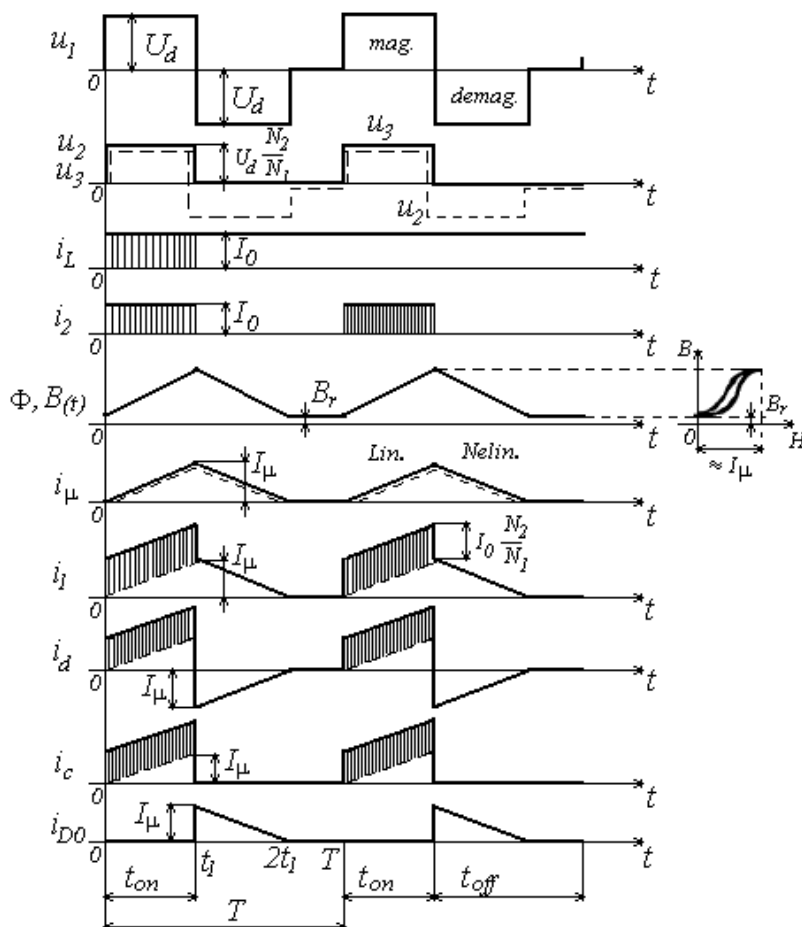
3.3 Jednočinný propustný měnič:

Základní zapojení je zobrazeno na Obr. 3.5 a průběhy důležitých veličin na obr. 3.6.

Základem tohoto propustného měniče je transformátor, kde na primárním vinutí impulsního transformátoru jsou připojeny dva tranzistory. Oba tranzistory pracují současně a přivádí, tak vstupní napětí U_d na primární vinutí impulsního transformátoru. Díky vstupnímu napětí začne procházet tranzistory proud i_1 v době t_{on} , který se skládá z magnetizačního proudu i_μ a pracovního proudu i_1 , který je dán velikostí proudu i_2 . V době vypnutí tranzistoru přebírají činnost demagnetizační diody, přes které se uzavírá demagnetizační proud. Transformátorem přestane protékat proud. Na sekundární straně proud tlumivkou L převezme nulová dioda D_{20} , přes kterou se uzavírá. U tohoto zapojení nesmí střída s_{max} překročit $\frac{1}{2}$. Tudiž doba zapnutí tranzistoru t_1 nesmí překročit hodnotu $\frac{T}{2}$, neboť pak dochází k nekontrolovatelnému přesycení transformátoru. Pokud by došlo k překročení této doby, nedošlo by k úplné demagnetizaci pracovního cyklu a došlo by k přesycení transformátoru a magnetizační proud by měl tendenci stále se zvyšovat.



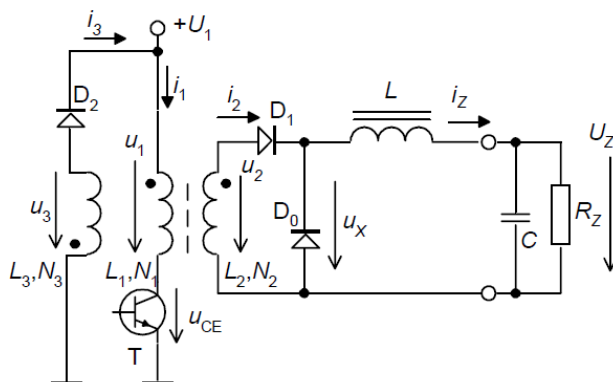
Obrázek 3.5 Jednočinný propustný měnič [6]



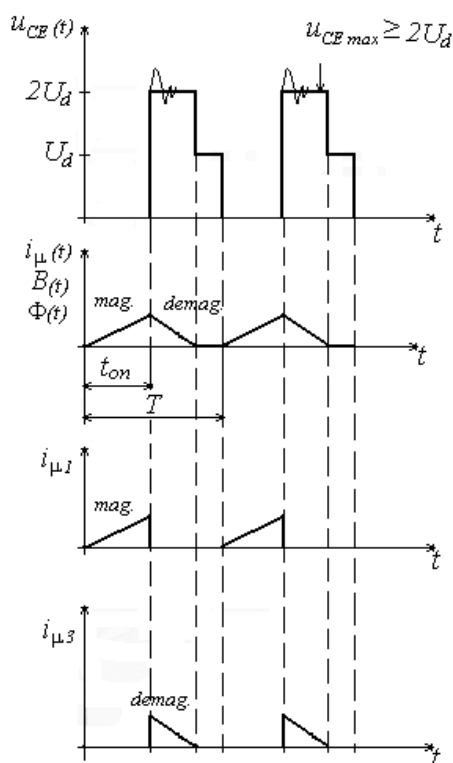
Obrázek 3.6 Průběhy veličin [6]

3.4 Jednočinný propustný měnič s demagnetizačním vinutím

Toto zapojení je principiálně stejně, jako v předchozí kapitole. Ale k demagnetizaci používáme demagnetizační vinutí, které je zapojeno obráceně vůči hlavnímu vinutí transformátoru a ve větvi s demagnetizačním vinutím, je přiřazena, ještě ochranná dioda. V době přenosu energie neprotéká demagnetizačním vinutím žádný proud. Dioda je zapojena v závěrném směru. V době kdy je tranzistor vypnut změní se polarita a dioda je v propustném směru a demagnetizačním vinutím začne protékat proud úměrný demagnetizačnímu proudu, aby se jádro transformátoru nepřesýtilo. Střída tohoto měniče je $s_{max} = 1/2$.



Obrázek 3.7 Jednočinný propustný měnič s demagnetizačním vinutím [6]

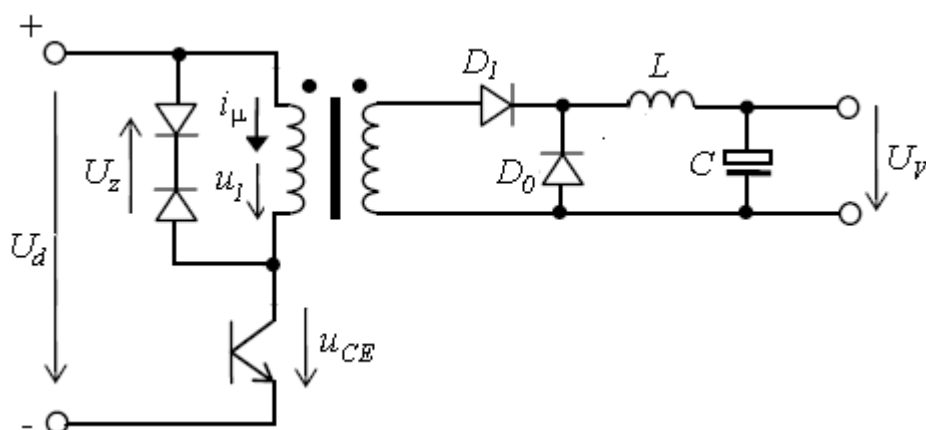


Obrázek 3.8 Průběhy veličin [6]

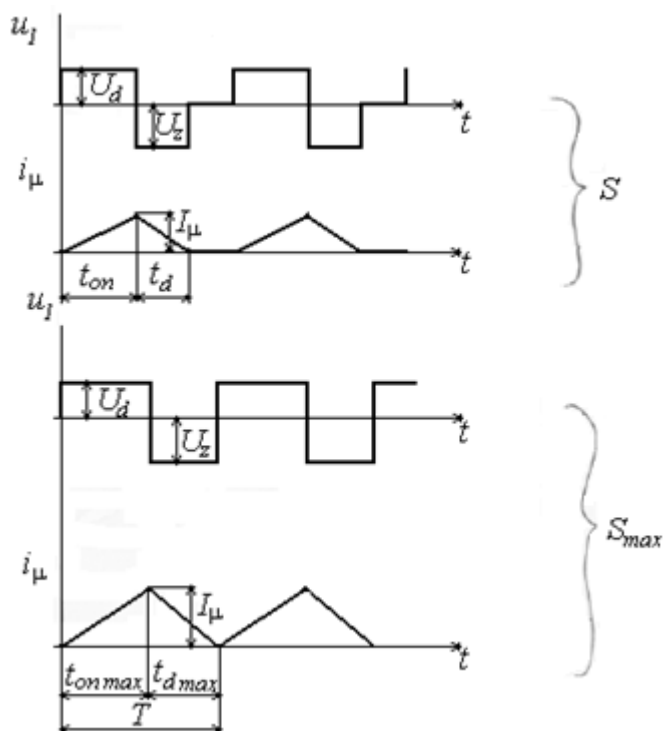
3.5 Jednočinný propustný měnič z demagnetizací do Zenerovy diody

Základní zapojení je zobrazeno na obr. 3.9 a průběhy důležitých veličin na obr. 3.10.

Měnič pracuje obdobně, jako jednočinný měnič s demagnetizačním vinutím. Demagnetizační energie akumulovaná v jádře transformátoru po dobu sepnutí tranzistoru, je přeměňována v neužitečné teplo na Zenerově diodě. Rychlost demagnetizace je určena velikostí napětí na Zenerově diodě U_z (v tomto případě to není napětí na zátěži, nýbrž velikost napětí Zenerovy diody). Tento typ měniče není určen pro přenášená velkých výkonů, nýbrž pro galvanické oddělení. Maximální střída může být větší než $\frac{1}{2}$ za předpokladu, že napětí Zenerovy diody je větší než napájecí napětí U_d .



Obrázek 3.9 Jednočinný propustný měnič z demagnetizací do Zenerovy diody [6]



Obrázek 3.10 Průběhy veličin [6]

3.6 Step-up měnič L6920

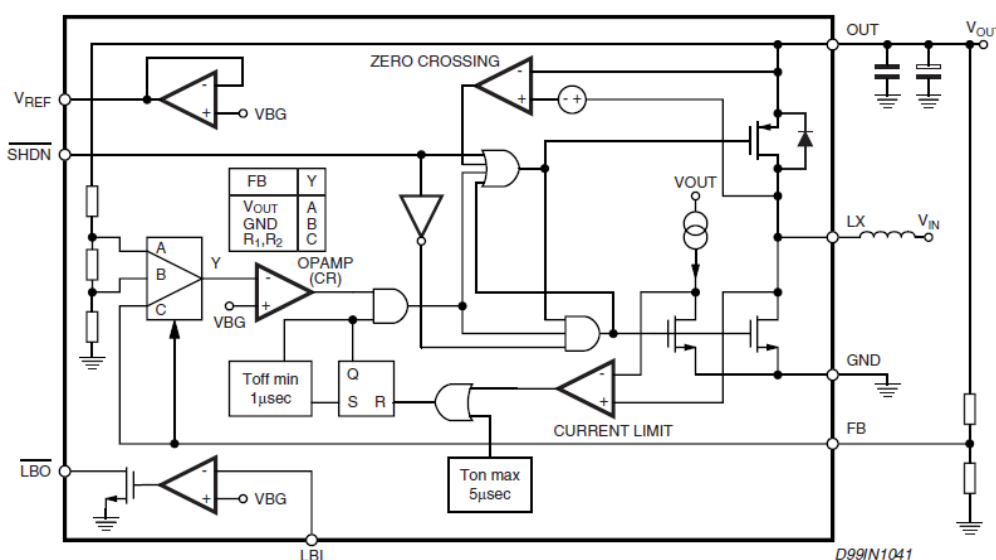
Step-up měnič s integrovaným obvodem L6920 dosahuje vysoké účinnosti kolem 90%, aby zlepšoval svoji účinnost, je realizován s proměnou frekvencí. Používá se v PDA, mobilních telefonech, pagerech, GPS, digitálních fotoaparátech. Obvod začíná pracovat při vstupním napětí 1V a pracuje, dokud napětí na vstupu nepoklesne pod hodnotu napětí 0,6V. Při tomto napětí dokáže regulovat výstupní napětí v rozmezí 2 až 5,2. Na výstupu tohoto obvodu můžeme dosáhnout proudu 700mA v závislosti na vstupním napětí. Měnič pracuje na maximální době zapnutí a minimální době vypnutí, proto je schopený dodávat tak velký proud na výstupu.

Vstupní napětí přivádíme na vstup LX a výstupní napětí je na pinu OUT. Pro oživení obvodu potřebujeme vstupní napětí minimálně 1V. Na výstupu můžeme odebírat napětí 3,3V, 5V nebo regulované v rozmezí 2V - 5V. Velikost výstupního napětí ovládáme pinem FB, pokud chceme napětí 3,3V spojíme pin FB s výstupním pinem OUT. Pro napětí na výstupu 5V, se kterým budeme pracovat, stačí pin FB spojit se zemí. Kdybychom chtěli regulovat výstupní napětí v rozmezí 2V – 5V musíme využít napěťového děliče, který bude připojen mezi pinem FB a OUT. Na pinech LBI a LBO kontrolujeme vstupní napětí. Obvod je stavěn, tak že pokud vstupní napětí LBI, bude nižší než interní reference obvodu 1,23V, přepne se výstupní pin LBO do log 0. Toto napětí lze opět upravit pomocí napěťového děliče. Využívá se pro ochranu akumulátorů, aby nedošlo k úplnému vybití a zničení akumulátoru. Pinem SHDN můžeme zapínat obvod (přivedeme-li napětí vyšší jak 0,6V) nebo vypínat (poklesne-li napětí pod hodnotu 0,2V). Poslední vlastností tohoto obvodu je kontrola polarity vstupního napětí. Při opačné polaritě akumulátoru nedojde ke zničení obvodu či akumulátoru.

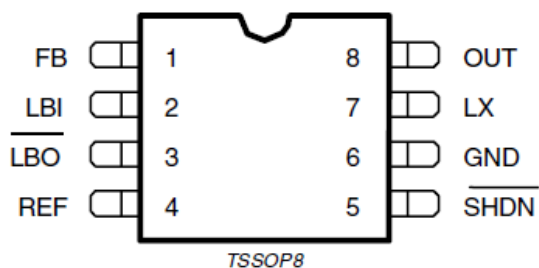
Princip obvodu L9620 je založen na komparátorech, který neustále kontrolují stav výstupního napětí. Pokud je nižší než očekávané hodnoty napětí, přivede se na výstup akumulovaná energie v induktoru (cívka). Energie je přenášena do zátěže bud:

TON fáze – přenáší se nakumulovaná energie z baterie do cívky přes pin LX sepnutím do země přes N kanál. Spínač se vypne, pokud proud v induktoru dosáhne hodnoty 1A nebo po maximálním nastavený čas 5μs.

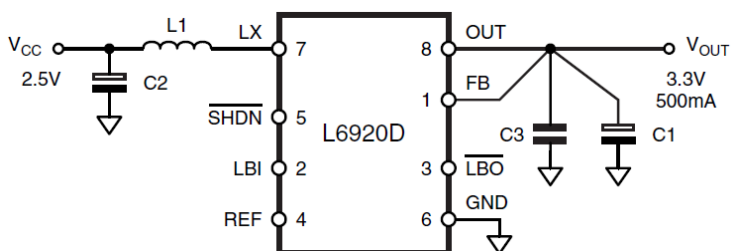
TOFF fáze – akumulovaná energie v cívce se přenáší do zátěže přes synchronní spínač po minimální dobu vypnutí 1μs. Nebo jakmile výstupní napětí klesá nebo proud induktorem klesá k nule.



Obrázek 3.11 Zjednodušené blokové schéma integrovaného obvodu L9620 [5]



Obrázek 3.12 Pin připojení obvodu L6920 [5]



Obrázek 3.13 Zapojení silové části obvodu L6920 [5]

4 KONSTRUKCE MĚNIČŮ

4.1 Step Up měnič

Tento jednoduchý Step Up měnič se skládá z tranzistoru, tlumivky, vyhlazovacího kondenzátoru a diody. Základem tohoto měniče je podmínka, která musí být splněna pro zvyšující se měnič. Výstupní napětí v tomto případě U_z , musí být větší než vstupní napětí U_d .

$$U_z \geq U_d \quad (4.1.1)$$

Obvod je napájen 2,8V a na výstupu požadujeme 5V. Podmínka je tedy splněna.

V obvodu musí dále platit, že pokud je tranzistor sepnut musí platit rovnice:

$$u_L(t) = U_d \quad (4.1.2)$$

A při vypnutí tranzistoru platí:

$$u_L(t) = U_d - U_z \quad (4.1.3)$$

Při určování střídý, musím nejdříve zvolit frekvenci, na které bude kmitat tranzistor. Frekvenci spínání volím 30kHz.

$$U_z = U_d \cdot \frac{1}{1-s} \quad (4.1.4)$$

$$s = \frac{t_z}{T} \quad s \in \langle 0; 1 \rangle \quad (4.1.5)$$

Povolená střída měniče je v rozmezí intervalu $< 0 \text{ až } 1 >$. Při zvolené frekvenci 30kHz bude měnič pracovat se střídou 0,44 s časem zapínání 14,66μs.

Pro činný výkon na vstupu a výstupu platí vztah:

$$P_d = U_d \cdot I_L \quad P_z = U_z \cdot I_{D0stř} \quad (4.1.6; 4.1.7)$$

Kde $I_L = I_d$, $I_{D0stř} = I_z$ jsou střední hodnoty proudy tlumivky a nulové diody

Pro výpočet proudu použijeme dané vztah:

$$I_{D0stř} = I_L \cdot (1 - s) \quad I_z = I_d \cdot (1 - s) \quad (4.1.8; 4.1.9)$$

Při výpočtu tlumivky vycházíme z předpokladu zvlnění proudu na výstupu. Toto zvlnění volíme mezi 5-40% výstupního napětí I_z . V našem případě jsem volil zvlnění proudu 117mA. Čím větší zvlnění menší tlumivka.

Indukčnost tlumivky vypočteme ze známého vztahu:

$$L = \frac{U_d}{2f\Delta I} \cdot (1 - s) \quad (4.1.10)$$

Pro zlepšení a vyhlazení výstupního napětí použijeme filtrační kondenzátor. Opět vycházíme ze vzorce, ale musíme zvolit vhodné zvlnění výstupního napětí, aby kondenzátor byl plně využit a nebyl zbytečně velký. Zvlnění výstupního napětí volíme 10% a tedy $\Delta U = 0,5V$.

$$C = \frac{(1-s) \cdot s}{16f^2 L} \cdot \frac{U_d}{\Delta U} \quad (4.1.11)$$

Pro Step up měnič jsem vypočetl a zvolil velikost tlumivky 100μH. Při této velikosti tlumivky mi vyšel kondenzátor o velikosti 1 μF.

4.1.1 Dimenzování polovodičových prvků:

Tranzistor dimenzujeme na maximální proud, který jím prochází v sepnutém stavu. Ve vypnutém stavu, kdy tranzistorem neprotéká žádný proud, musí vydržet výstupní napětí U_z a napěťové nárazy vzniklé při vypínání. Tranzistor je vhodné mít předimenzovaný, aby se nepřehříval a nemuseli jsme používat hlazení. Proud tranzistorem je $i_{c \max} = 1,25A$ a napětí v závěrném stavu volíme, alespoň dvakrát větší než výstupní napětí U_z , $U_{ce \text{ závěrný}} = 10V$. Z katalogu GME jsem vybral běžně používaný NPN výkonový tranzistor BD 135, který splní naše účely pro nabíječku. Mohli bychom použít i tranzistory typu MOS-FET.

Diodu dimenzujeme na maximální procházející proud a v závěrném směru na napětí, které opět volíme dvakrát větší než výstupní napětí U_z . Proud $i_{D \max} = 1,25A$, a závěrné napětí minimálně $U_{z \text{ závěrné}} = 10V$. Z katalogu GME jsem vybral rychlou Schottkyho diodu.

Výpočet hodnot proudů polovodičovými prvky:

$$I_{T \max} = I_1 \quad (4.1.12)$$

$$I_{T \text{ stř}} = I_1 \cdot s \quad (4.1.13)$$

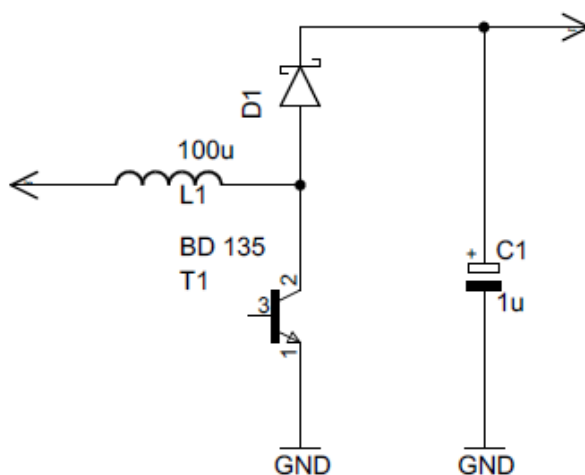
$$I_{D1 \text{ ef}} = I_z \cdot \sqrt{s} \quad (4.1.14)$$

$$I_{D \max} = I_1 \quad (4.3.15)$$

$$I_{D \text{ stř}} = I_1 \cdot (1 - s_{\min}) \quad (4.3.16)$$

$$I_{D \text{ ef}} = I_1 \cdot \sqrt{(1 - s_{\min})} \quad (4.3.17)$$

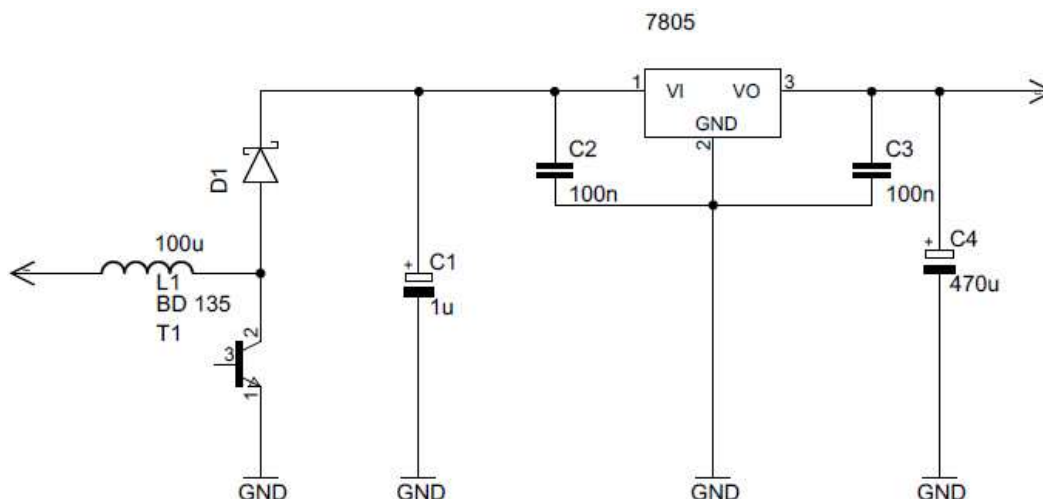
Při velké střídě je více proudově namáhán tranzistor než dioda a naopak. Tranzistor dimenzujeme na špičkový proud a diodu na střední.



Obrázek 4.1 Schéma zapojení Step up měniče

4.2 Step Up měnič se stabilizátorem 7805

Step up měnič jsem pokusil vylepšit stabilizátorem 7805. Důvodem pro zařazení tohoto stabilizátoru do obvodu bylo, protože výstupní napětí na prázdko dosahovalo vysokých hodnot. Citlivějším zařízením by tyto hodnoty mohli způsobovat problémy. Stabilizátor nám tuto hodnotu udrží na 5V. Velikosti kondenzátoru k příslušnému stabilizátor jsem navrhl podle datasheetu. Kondenzátory C_2 a C_3 jsou keramické a jejich hodnota je 100nF. Zbytek obvodu zůstal stejný, jako v případě kapitoly 4.1. Na výstup měniče jsem přidal, ještě jeden vyhlazovací kondenzátor elektrolytický o velikosti 470 μ F.



Obrázek 4.2 Návrh Step up měniče se stabilizátorem 7805

4.3 Jednočinný propustný měnič

4.3.1 Návrh impulzního transformátoru

Transformátor pulzních měničů pracuje ve velmi náročném režimu. Je výhodné eliminovat nárůst hysterzních a vířivých ztrát při vzrůstajícím kmitočtu. Proto nepoužíváme železo, ale použijeme magneticky měkké feritové materiály, které mají velký měrný odpor. Vykazují malou hysterzní smyčku, což je výhodou, ale nevýhoda je malé sycení B.

Při volbě spínacího kmitočtu transformátoru musíme zvažovat, že ovlivňuje počet závitů a přenášený výkon. Volíme optimální kmitočet a pro náš případ navrhuji kmitočet 150kHz. Transformátor na tomto kmitočtu přenesse náš požadovaný výkon na výstupu 3,5W. Pro minimalizaci rozptylu transformátoru na vyšších frekvencích jsem vybral feritové toroidní jádro od společnosti AMIDON Associates s označením FT 50-70. Parametry a důležité informace se kterými budu počítat, jsou uvedeny níže v tabulce:

Tabulka 4.1 Parametry jádra FT 50-70

Vnější průměr	[mm]	12,7
Vnitřní průměr	[mm]	7,1
Výška jádra	[mm]	4,8
Magnetizační konstanta A_L	[mH/z]	1100/1000
Maximální indukce $B_{\max}$	[T]	0,46
Maximální permeabilita $\mu_{\max}$	[-]	6000
Střední délka siločáry l_e	[mm]	30,2
Průřez jádra S_f	[m ²]	26,88
Objem V_e	[mm ³]	402

Pro výpočet magnetizačního proudu transformátoru potřebuji znát maximální indukci $B_{\max}$, remanentní indukci B_r , maximální permeabilitu $\mu_{\max}$ a střední délku siločáry l_e . Parametry udává výrobce, nemusíme je určovat z grafu, jsou dány tabulkovými hodnotami.

$$I_{\mu m} = \frac{2 \cdot f \cdot (B_{\max} - B_r)^2 \cdot l_{fe} \cdot S_{fe}}{U_d \cdot \mu_0 \cdot \mu_{rfe}} \quad (4.3.1)$$

$$I_{Dstř} = \frac{1}{2} \cdot I_{\mu m} \cdot S \quad (4.3.2)$$

$$I_{Def} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot I_{\mu m} \cdot \sqrt{S} \quad (4.3.3)$$

Výpočet počtů primárních závitů:

$$N_1 = \frac{U_d}{2 \cdot f \cdot (B_{\max} - B_r) \cdot S_{fe}} \quad (4.3.4)$$

Počet závitů se zaokrouhluje nahoru, aby nedoházelo k přehřívání. V našem případě kolísání napájecího napětí nemá vliv.

Pro výpočet sekundárních závitů, potřebuji určit střidu. Jednočinný propustný měnič má maximální střidu $s_{\max}=0,5$. Kdyby střida u tohoto měniče byla větší, nedošlo by k úplné demagnetizaci a magnetizační proud by lavinovitě narůstal do nekonečna a došlo by k zničení. Volím střidu 0,35, která by měla být dostačující, aby se jádro transformátoru stihlo demagnetovat.

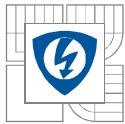
$$N_2 = N_1 \cdot \frac{U_z}{U_d \cdot s} \quad (4.3.5)$$

Primární a sekundární vinutí při frekvenci 150kHz vychází na 1 závitů na primární straně a 5 závitů na sekundární straně. Z důvodů úbytků a zmenšení proudu na primární straně zvedneme závity na primární straně na 8 a na sekundární straně přidáme závity kvůli úbytkům napětí na součástkách na 40 závitů.

Dále vypočtu efektivní hodnotu proudu na sekundární straně, kde požaduji na výstupu proud $I_z=400\text{mA}$ podle vztahu:

$$I_{2ef} = I_z \cdot \sqrt{s} \quad (4.3.6)$$

Přes převod transformátoru určím efektivní proud na primární straně podle vztahu:



$$I_{1ef} = I_{2ef} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (4.3.7)$$

Efektivní proud na sekundární straně má velikost 237mA a na primární straně 1,185A.

Z vypočítaných hodnot proudů získáme průřez obou vinutí:

$$S_{Cu1} = \frac{I_{1f}}{J_1}, S_{Cu2} = \frac{I_{2f}}{J_2} \quad (4.3.8)$$

Jelikož transformátor nebude přenášet žádné velké výkony a nebude namáhán velkým proudem, tak na primární straně volíme průřez vodiče $0,45\text{mm}^2$ a na sekundární straně volíme vinutí o tloušťce drátu $0,25\text{mm}^2$. Velikost magnetizační proud je $I_{\mu m} = 283 \cdot 10^{-3}\text{A}$.

Vztah pro kontrolu, zda se jádro nepřesytí:

$$B_{max} = \frac{U_d \cdot T \cdot s_{max}}{N_1 \cdot S_f} \quad (4.3.9)$$

4.3.2 Dimenzování polovodičů:

Dimenzování tranzistoru:

$$I_{Tmax} = I_Z \cdot \frac{N_2}{N_1} + \Delta I_P + I_{\mu} \quad (4.3.10)$$

$$I_{Tstř} = I_Z \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot s \quad (4.3.11)$$

$$I_{Tef} = I_Z \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \sqrt{s} \quad (4.3.12)$$

Zvlnění proudu na sekundární straně přepočítaný na primární stranu ΔI_P .

Tranzistor dimenzujeme na maximální proud, který jím prochází v sepnutém stavu. Ve vypnutém stavu, kdy tranzistorem neprotéká žádný proud, musí vydržet vstupní napětí U_d a napětíové nárazy vzniklé při vypínání. Tranzistor je vhodné mít předimenzovaný, aby se nepřehříval a nemuseli jsme používat hlazení.

Dimenzování demagnetizačních diod:

Dimenzování pro diodu D_1 , která v obvodu zabraňuje průchodu proudu zpět do transformátoru, pokud není aktivní. Vycházíme ze známých vztahů:

$$I_{D1max} = I_Z \quad (4.3.13)$$

$$I_{D1stř} = I_Z \cdot s \quad (4.3.14)$$

$$I_{D1ef} = I_Z \cdot \sqrt{s} \quad (4.3.15)$$

Poté pro nulovou diodu vycházíme ze vztahu:

$$I_{D0max} = I_Z \quad (4.3.16)$$

$$I_{D0stř} = I_Z \cdot (1 - s_{min}) \quad (4.3.17)$$

$$I_{D0ef} = I_Z \cdot \sqrt{(1 - s_{min})} \quad (4.3.18)$$

$S_{\min}$ je minimální střída se kterou může obvod pracovat, aby nedošlo k poškození

Napětí na diodách na sekundární straně budeme dimenzovat na dvojnásobnou hodnotu napětí na výstupu transformátoru. Kvůli špičkám a vznikajícím indukčnostem na měniči.

Tento měnič jsem nestavěl, protože nebyl vyhovující pro náš případ nabíječky. Kvůli dvěma tranzistorům by vznikl velký úbytek napětí na nich a potřeboval bych dva budící obvody pro tranzistory. Z důvodu minimalizace nabíječky jsem tento obvod vyřadil.

4.4 Jednočinný propustný měnič z demagnetizací do Zenerovy diody

Postup při návrhu transformátoru je obdobný, jako v případě jednočinného propustného měniče. Použijeme stejné toroidní jádro od společnosti AMIDON Associates s označením FT 50-70. Pro výpočet střídý použijeme vztah:

$$S_{max} = \frac{U_Z}{U_Z + U_d} \quad (4.4.1)$$

Kde U_Z v tomto případě není napětí na zátěži, ale napětí na Zenerově diodě. Zenerovu diodu jsem zvolil 20V. S těmito parametry mi vyšla střída měniče 0,88, tento měnič je schopný s touto střídou pracovat. Napětí Zenerovy diody nevolíme příliš vysoké, protože při vypínání je tranzistor namáhán napětím $U_{CC} + U_Z + 0,6V$). Ztrátový výkon na Zenerově diodě volíme, co nejmenší nejlépe kolem 1W, podle dispozic konkrétní součástky. Ztrátový výkon pro Zenerovu diodu odpovídá 2W.

Při výpočtu primárních závitů jsem použil vztah:

$$N_1 = \frac{U_d \cdot S_{max}}{\sqrt{2f \cdot A_L \cdot P_{Zmax}}} \quad (4.4.2)$$

Pro výpočet sekundárních závitů vycházíme ze vztahu:

$$N_2 = \frac{U_V \cdot N_1}{U_d \cdot S_{max}} \quad (4.4.3)$$

Primární a sekundární vinutí jsem navrhl na 8 závitů na primární straně, čím více závitů tím menší proud bude na primární straně. Sekundární vinutí jsem dopočítal přes poměr napětí a střidu a vyšlo mi 40 závitů. Měnič pracuje na frekvenci 150kHz, čím vyšší frekvenci volíme, tím se lépe bude přenášet výkon přes transformátor.

Dále vypočtu efektivní hodnotu proudu na sekundární straně, kde požaduji na výstupu proud $I_Z = 400mA$ podle vztahu:

$$I_{2ef} = I_Z \cdot \sqrt{5} \quad (4.4.4)$$

Přes převod transformátoru určím efektivní proud na primární straně podle vztahu:

$$I_{1ef} = I_{2ef} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (4.4.5)$$

Efektivní proud na sekundární straně má velikost 375mA a na primární straně 1,875A

Pro kontrolu, zda se nám jádro nepřesytí, použijeme vztah:

$$B_{max} = \frac{U_{CC} \cdot T \cdot S_{max}}{N_1 \cdot S_f} \quad (4.4.6)$$

4.4.1 Dimenzování polovodičů

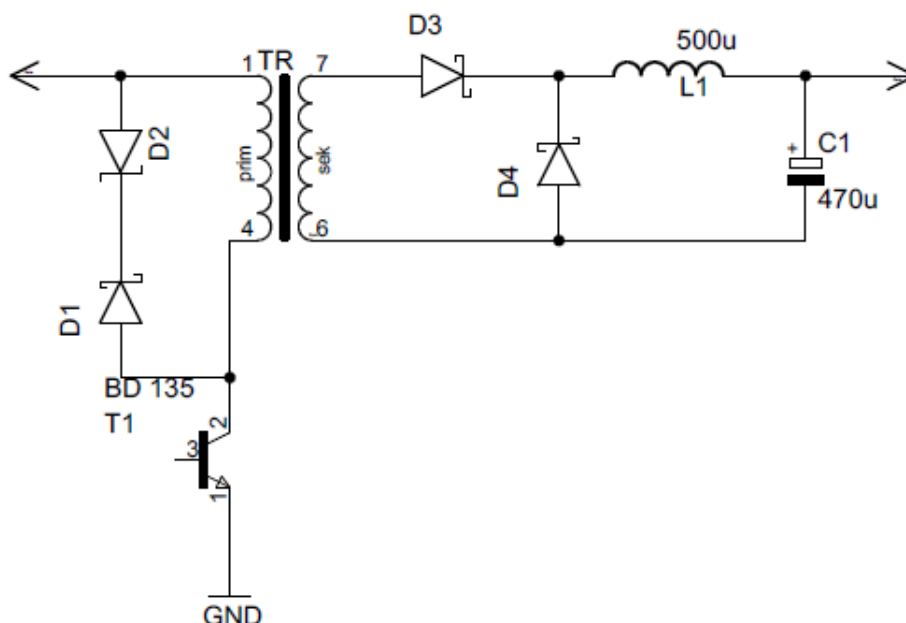
Tranzistor ponecháváme stejný, jako v předešlých kapitolách. NPN výkonový tranzistor BD 135.

Při dimenzování diod postupujeme opět stejně, jako v předešlých kapitolách. Diody použijeme rychlé Shottkyho diody.

4.4.2 Návrh kondenzátoru a tlumivky

Při volbě kondenzátoru vycházíme ze vztahu 4.1.11. Velikost kondenzátoru je 470μF.

Velikost tlumivky je 500μH.



Obrázek 4.3 Návrh měniče se Zenerovou diodou

4.5 Jednočinný propustný měnič s demagnetizačním vinutím

Při návrhu jednočinného propustného měniče s demagnetizačním vinutím vycházím ze stejného postupu výpočtu transformátoru, jako při návrhu propustného měniče. Na primární straně měniče namotám, stejný počet závitů demagnetizačního vynutí, jako jsem napočítal primárních závitů. Do obvodu s demagnetizačním vynutím, ještě přidám rychlou Shottkyho diodu.

Pro výpočet střída měniče musím znát počet závitů N_1 a N_3 . Volím stejný počet závitů, a proto střída může být maximálně 0,5. Kdyby volil více závitů, spočítá ze vztahu:

$$s_{max} = \frac{N_1}{N_1 \cdot N_3} \quad (4.5.1)$$

Pro výpočet primárních závitů použijeme vztah:

$$N_1 = \frac{U_d \cdot t_1}{B_{max} \cdot S_f} \quad (4.5.2)$$

Čas t_1 spočítáme ze zvolené frekvence.

Počet sekundárních závitů určíme z poměru napětí a střídý:

$$N_2 = \frac{U_Z \cdot N_1}{U_d \cdot s} \quad (4.5.3)$$

Primární vinutí nám vychází jeden závit a na sekundárním vynutí čtyři závity. Opět provedeme pro snížení proudů na primární straně přepočít a zvedneme závitů v daném poměru.

Dále vypočtu efektivní hodnotu proudu na sekundární straně, kde požadují na výstupu proud $I_Z = 400\text{mA}$ podle vztahu:

$$I_{2ef} = I_Z \cdot \sqrt{s} \quad (4.5.4)$$

Přes převod transformátoru určím efektivní proud na primární straně podle vztahu:

$$I_{1ef} = I_{2ef} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (4.4.5)$$

Efektivní proud na sekundární straně má velikost 282mA a na primární straně 1,414A.

4.5.1 Dimenzování polovodičových prvků:

Proudové dimenzování transistoru:

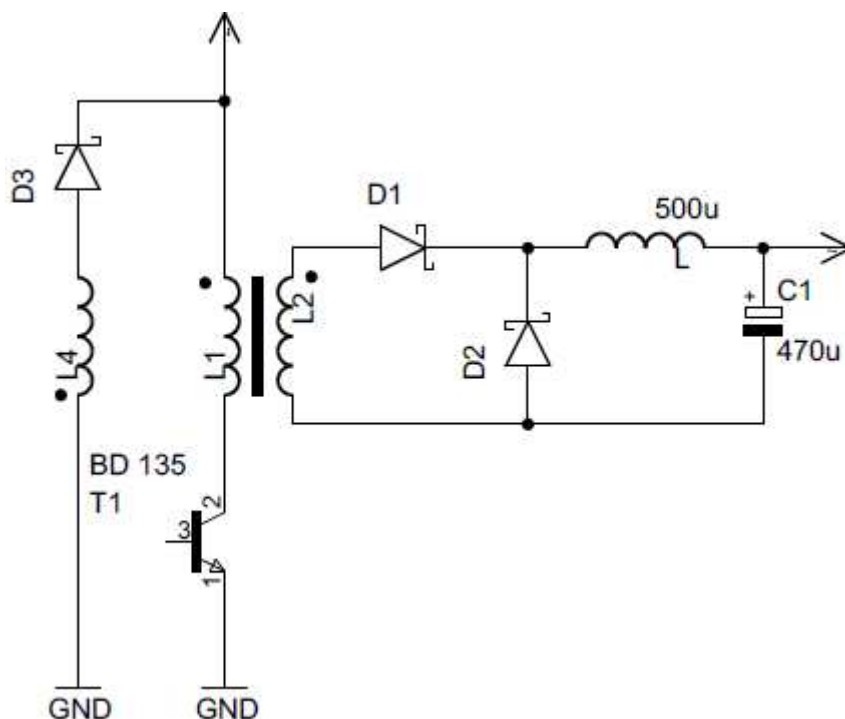
$$I_{1max} = I_Z \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (4.5.6)$$

$$I_{1stř} = I_Z \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot s \quad (4.5.7)$$

$$I_{Tef} = I_Z \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \sqrt{s} \quad (4.5.8)$$

Dimenzování diod je obdobné jako u předchozích měničů.

Pro výpočet sekundárních součástek použijeme stejné vztahy, jako v předešlých kapitolách.



Obrázek 4.4 Návrh měniče s demagnetizačním vinutím

4.6 Návrh měniče L6920

Při návrhu zvyšujícího měniče vycházíme ze schématu uvedeného v datasheetu a požadavků ze zadání.

Pro regulaci hodnoty výstupního napětí v rozmezí (2V-5V), musíme využít napěťového děliče nebo proměnného odporu. Pro naše účely, kdy potřebuji regulovat výstupní napětí a nemít nastavenou trvalou hodnotu použiji odporový trimmer. Jeho velikost zvolíme, tak aby se dalo výstupní napětí dobře regulovat v celém rozsahu. Velikost odporového trimru je stanovena na hodnotu 500kΩ.

Integrovaný obvod L6920 umí chránit baterie před úplným vybitím. Pokud chceme využít této ochrany akumulátorů, je třeba použít napěťový dělič, který je přímo připojen k akumulátoru a na pin LBI. Na tomto pinu je porovnáván s interní referencí 1,23V. Pokud klesne, pod zvolené napětí přepne se pin LBO do log 0. V našem případě mají akumulátory (NiMH) napětí na prázdko 2,8V. Jmenovitá hodnota baterie je 1,2V a baterie je vybita při hodnotě 1V. Při vybíjení (zatížení) dochází k poklesu napětí na akumulátoru a při hodnotě 2,4V dochází už k rychlému poklesu a vybití baterií. Pro vybité akumulátory tedy stanovíme hodnotu napětí 2,13V jako hraniční hodnotu a s tou budeme počítat. Při dosažení hodnoty napětí na akumulátorech 2,13V se nám rozsvítí červená dioda na měniči a ukáže nám, že stav baterií je nízký. Pro výpočet napěťového děliče použijeme vztah z datasheetu:

$$V_{LBI} = 1,23 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (4.6.1)$$

Pro výpočet hodnoty rezistoru R_1 a R_2 využijeme výše uvedený vztah, kde hodnotu odporu R_1 volím, a poté dopočítám velikost odporu R_2 .

$$R_1 = 10\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 15\text{k}\Omega$$

$$V_{LBI} = 2,13\text{V}$$

Další součástky byly zvoleny podle doporučených hodnot z datasheetu.

$$C_1 = 100\text{nF}$$

$$C_2 = 47\mu\text{F}$$

$$C_3 = 47\mu\text{F}$$

$$C_4 = 100\text{nF}$$

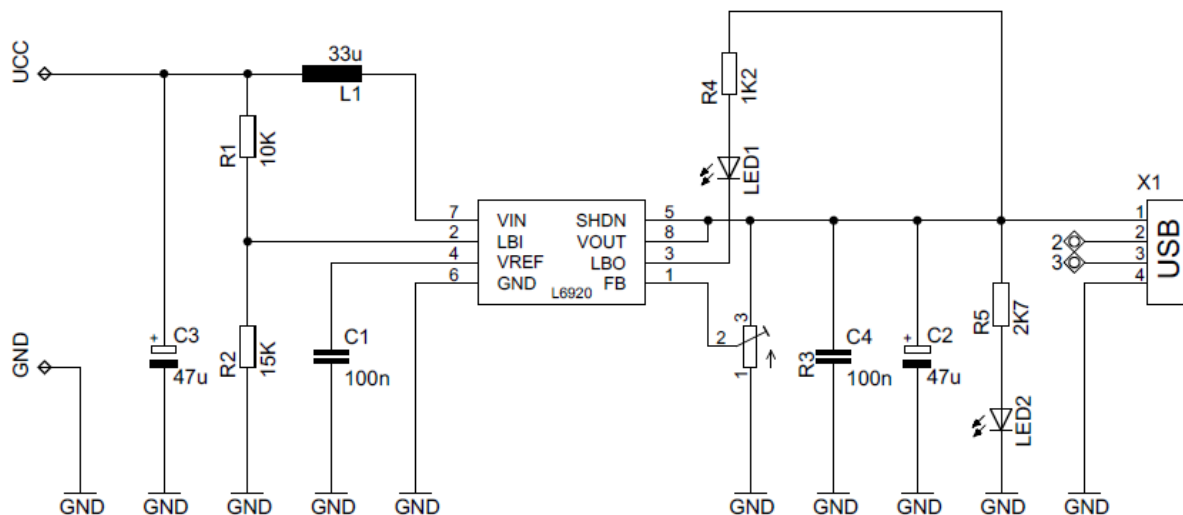
$$L_1 = 33\mu\text{H}$$

Volbu výstupní kondenzátor je dobré zvážit, protože ovlivňuje účinnost a zvlnění výstupního napětí. Kapacita kondenzátorů by se měla volit v rozmezí 10-100μF. Další menší ESR kondenzátor může být zapojen paralelně pro filtrování vysoké frekvence. Jeho hodnota se pohybuje kolem 1μF. Pro velmi vysoké výkony z hlediska účinnosti je dobré volit ESR kondenzátor menší.

Při výběru tlumivky musíme zvážit, taky několik hledisek. Malá hodnota tlumivky, znamená menší fyzická velikost a rychlejší odezvu na přechodový děj na zátěži a větší zvlnění na výstupu.

Ve skutečnosti je, ale výstupní zvlnění definováno proudem $I_{\max}$ a vynásobené ESR. Saturační proud tlumivky by měl být větší než maximální proud limitovaný zařízením. Indukčnost cívky by měla být v rozmezí 5-40 μ H.

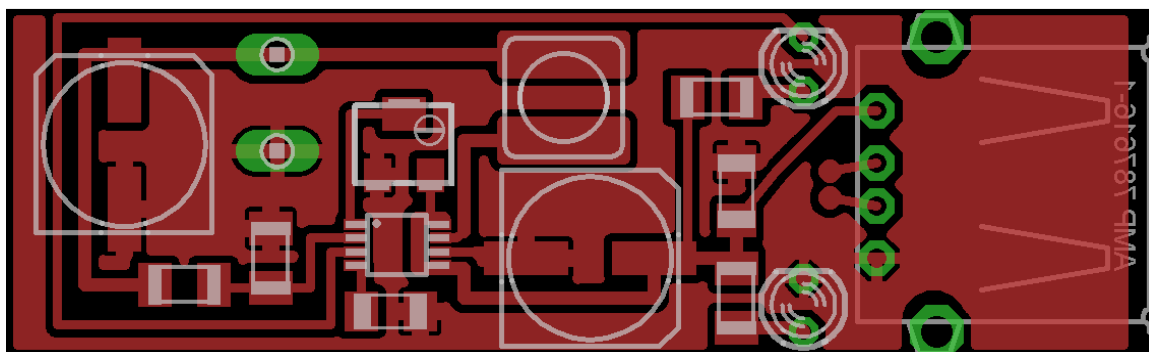
Pro hodnoty odporů R_4 a R_5 využijeme Kirchhoffovy zákony. Kde si volíme proud LED diodou 1mA. Velikost odporů vychází pro diodu D1 1K2 a pro diodu D2 2K7.



Obrázek 4.5 Návrh měniče s integrovaným obvodem L6920



Obrázek 4.6 Tištěného spoje



Obrázek 4.7 Tištění spoj

5 ZDROJ PRO MĚNIČ

Při výběru zdroje musím uvažovat, aby byl kdekoli dostupný ke koupi. Toto je jedna ze základních požadavků, jinak by cestovní nabíječka byla nevyužitelná. Použiji tedy dva akumulátory velikosti AA (tužka). Na výběr mám uživatel z různých druhů akumulátorů (NiCd, NiMH, alkalické, RAM a lithiové). Uživatel může použít, jakýkoli z těchto druhů a nabíječka bude fungovat. Problém může nastat u lithiových baterií, které mají jinou konstrukci a nemuseli by se vejít do zvoleného pouzdra.

Druhým kritériem je, aby daný zdroj dokázal nabít baterii telefonu. Vybírám běžný akumulátor NiMH od společnosti GP Batteries. Jedná se dobíjecí akumulátor, kde napětí jednoho článku je 1,2V, v plně nabitým stavu (naprázdno) je napětí 1,4V. Kapacita baterie jsem zvolil 2000mA. Počet nabíjecích cyklů je 1000. Tyto parametry jsou dostačující pro napájení všech součástí obvodu. Vzhledem k tomu, že maximální napětí je 2,8V a bude nám postupně klesat při používání, musíme vhodně zvolit zvyšující měnič.

Mezi dnes nejběžněji používané baterie patří Alkalické baterie a akumulátory NiMH. Proto budeme uvažovat pracovní napájecí napětí 2x1,2V. Minimální hodnota, kdy dojde k vypnutí, bude 2x1,0V.

Při uvažování výstupního napětí 5V a proudu 400mA a účinností 90%, tak proud z baterky bude $\frac{5V \cdot 400mA}{0,9} / 2,4V = cca 0,93A$, což při průměrné kapacitě baterie 2000mAh dělá proud odpovídající 0,5C.

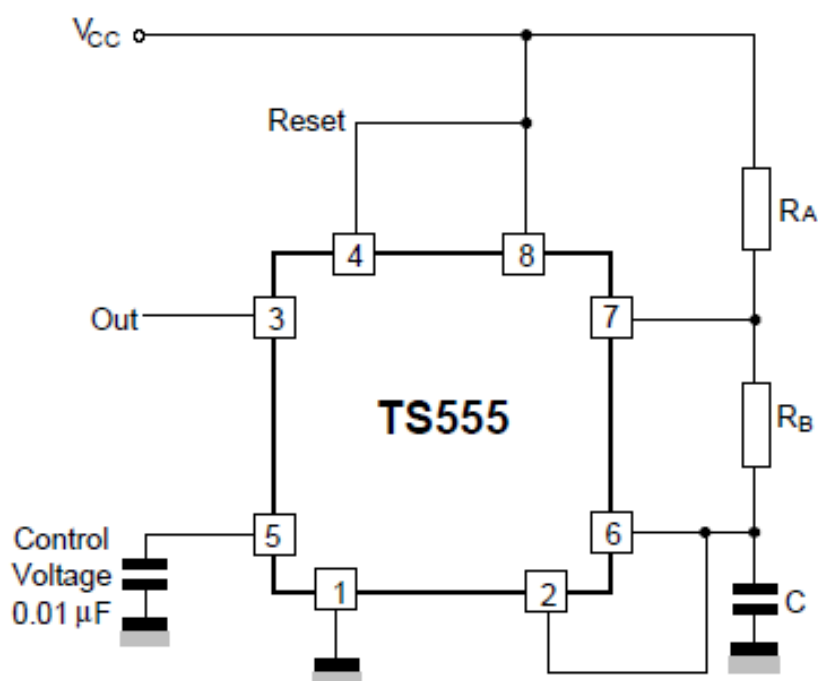
6 ŘÍZENÍ TRANZISTORU

Řízení obvodu provádíme analogově a to pomocí integrovaného obvodu 555. Tento jednoduchý a již dlouhá léta používaný obvod nalézá stále uplatnění a je v určitých obvodech nenahraditelný. IO 555 má velmi nízkou spotřebu energie, která se pohybuje řádově v desítkách mikro ampér a umí pracovat s rozsahem napětí od 2V do 16V. Astabilní frekvence obvodu je 2,7MHz.

Pro řízení tranzistoru využijeme 555 v astabilním zapojení. Pro výpočet použijeme dané vztahy:

$$t_1 = 0,693 \cdot (R_A + R_B) \cdot C \quad (6.1)$$

$$t_2 = 0,693 \cdot R_B \cdot C \quad (6.2)$$



Obrázek 6.1 Astabilní zapojení obvodu s 555

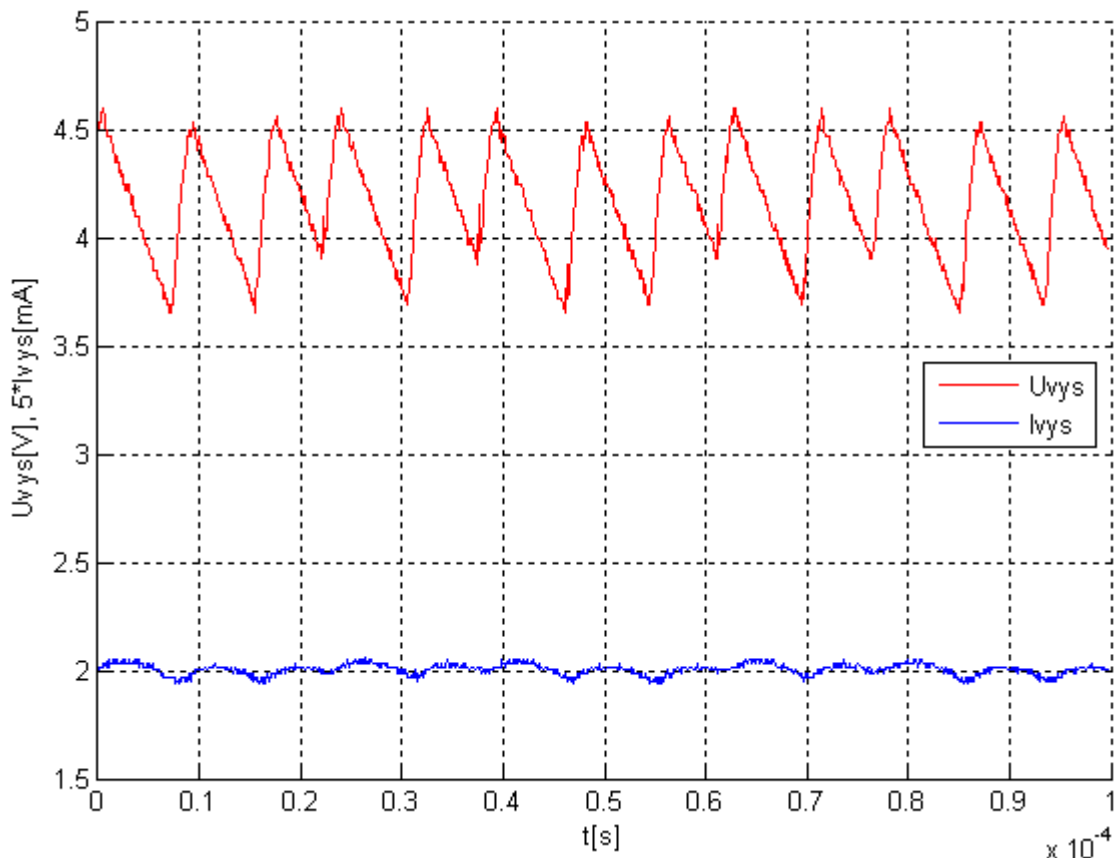
Obvod s 555 byl sestaven, ale z důvodu měření, kdy jsem nastavoval různé frekvence a střídu, použiji generátor.

7 NOUZOVÁ NABÍJEČKA MW-MC101

Pro srovnání výsledků jsem otestoval kapesní nabíječku na jednu tužkovou baterii velikosti AA. Doba nabíjení je udávána 50-70 minut. Výrobce udává dobu hovoru až 100 min.

Tabulka 7.1 Naměřené hodnoty

Naprázdno		Při zatížení					
U_{vst}	U_{vyst}	U_{vst}	U_{vyst}	I_{vst}	I_{vyst}	ΔU	ΔI
V	V	V	V	A	mA	V	mA
1,0	5,73	1,2	5,57	0,41	140	0,75	16
1,1	5,78	1,2	5,40	0,63	180	0,75	16
1,2	5,81	1,2	5,21	0,72	200	0,76	19
1,3	5,98	1,2	4,72	0,89	250	0,77	19
1,4	6,06	1,2	4,52	1,10	300	0,94	19
1,5	6,16	1,2	4,36	1,36	350	1,09	28
		1,2	4,20	1,57	400	1,09	31
		1,2	3,93	1,82	450	1,16	34
		1,2	3,77	2,00	500	1,25	47
		1,2	3,52	2,26	550	1,22	48
		1,2	3,27	2,50	600	1,31	56
		1,2	3,24	2,78	650	1,31	66
		1,2	2,98	3,08	700	1,34	84



Obrázek 7.1 Závislosti výstupního napětí a proudu na čase pro vstupní napětí 1,2V

8 ZHODNOCENÍ MĚNIČŮ

8.1 Step up měnič

Tato jednoduchá topologie zvyšujícího měniče pracující ve druhém kvadrantu, je jednoduchá na konstrukci i na výpočet součástek. Ale pokud ho chceme využít pro naše účely (nabíječka mobilního telefonu), vyskytují se zde další problémy.

Mezi problémy můžeme zahrnout ochranu zdroje proti vybití baterií. Zde se můžeme ovšem pozastavit, a pokud bychom volili běžně dostupné baterii tzv. na jedno použití (např. zinko-carbonové) tak bychom tuto ochranu nemuseli zahrnovat do návrhu, protože baterie po vybití vyhodíme. Mluvíme tedy o tzv. dobíjecích bateriích, u kterých by to mohl být problém, a nemuseli by se už vzpamatovat. Dále můžeme mluvit o ochraně proti přepólování či zkratu. Další věcí a stěžejním problémem je řídicí obvod pro tento měnič.

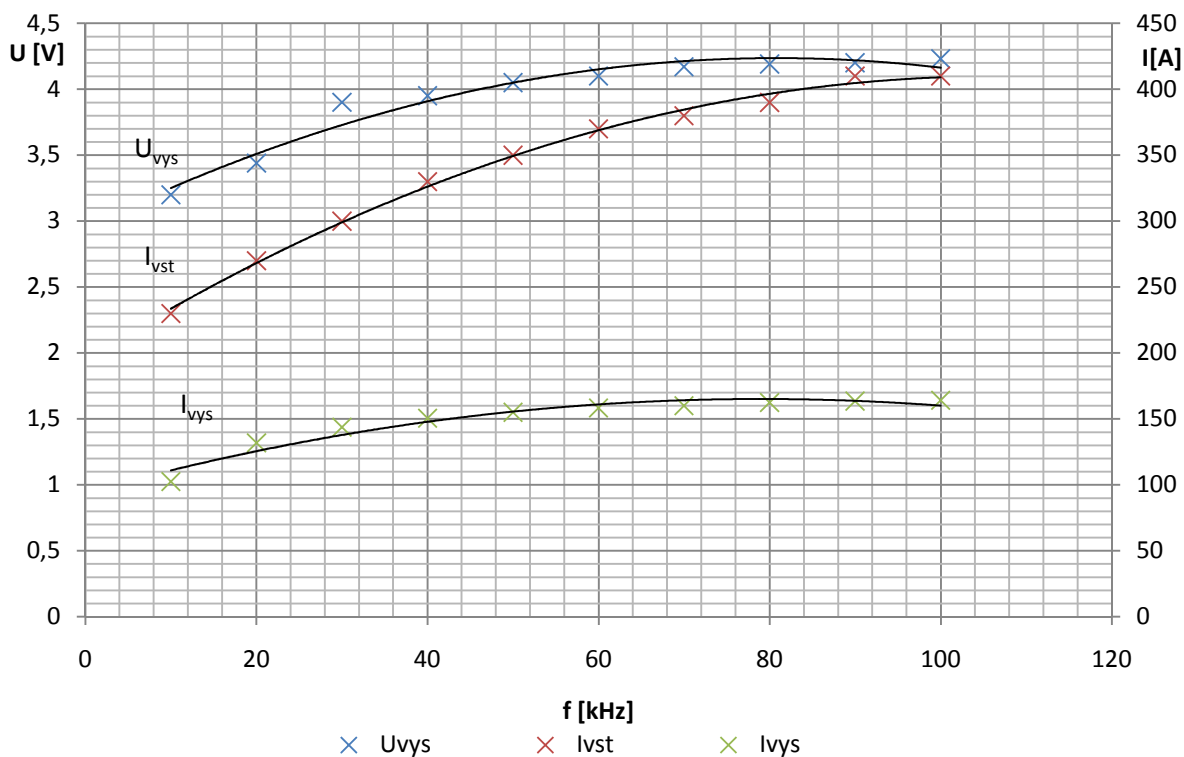
Takže po uvážení těchto problémů se nám z jednoduché varianty měniče stane docela náročné zařízení, jak na součástky, tak na velikost, která je v našem případě taky stěžejní. V dnešní době minimalizace každý člověk chce mít co nejmenší věci s co nejlepším zařízením a velkou účinností. Z těchto důvodů jsme nad touto variantou měniče zanevřeli.

Tabulka 8.1 Naměřené hodnoty

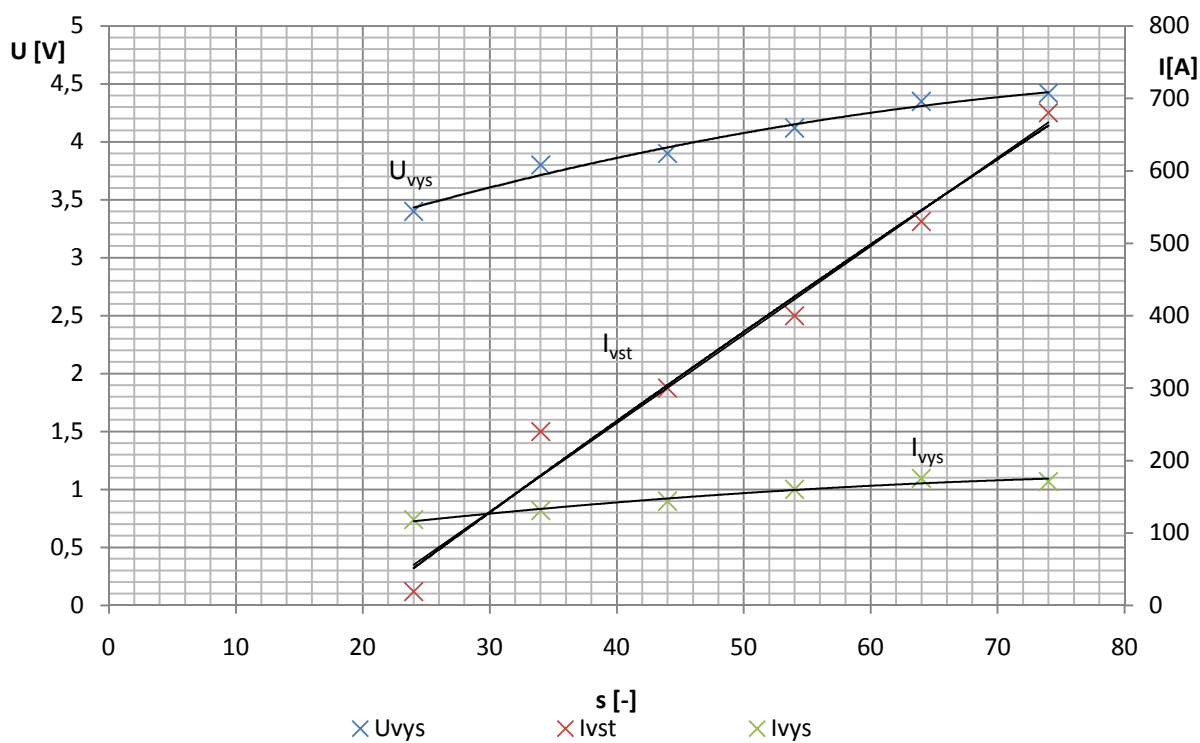
s	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[-]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
24	19	118,4	2,8	3,40
34	240	130,6	2,8	3,80
44	300	143,7	2,8	3,90
54	400	159,9	2,8	4,12
64	530	175,1	2,8	4,35
74	680	170,9	2,8	4,42

f	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[kHz]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
10	230	102,6	2,8	3,20
20	270	131,8	2,8	3,44
30	300	143,7	2,8	3,90
40	330	150,5	2,8	3,95
50	350	155,0	2,8	4,05
60	370	158,2	2,8	4,10
70	380	160,0	2,8	4,17
80	390	162,4	2,8	4,19
90	410	163,5	2,8	4,20
100	410	164,0	2,8	4,23

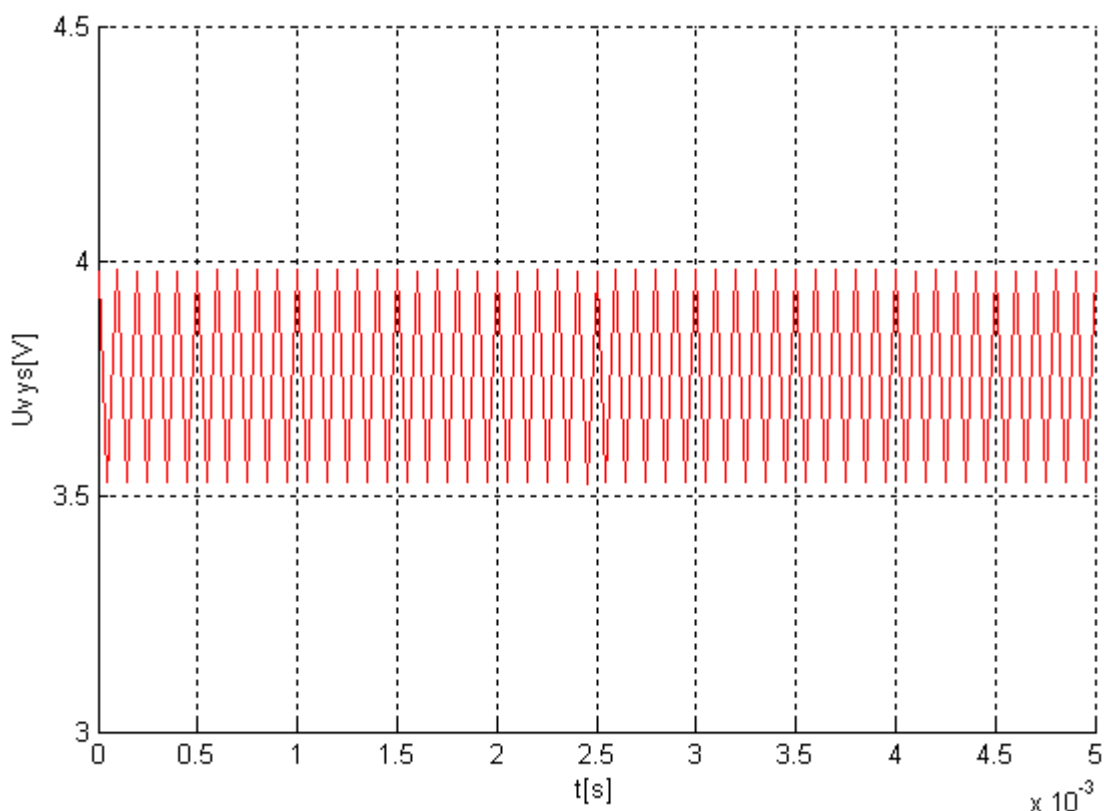
Naměřená hodnota výstupního napětí naprázdno přesahuje mnohonásobně požadované napětí a hodnota činná 54V. Při tomto napětí by mohlo dojít při připojení zařízení na výstup měniče k poškození.



Obrázek 8.1 Závislost veličin na frekvenci



Obrázek 8.2 Závislost veličin na střídě



Obrázek 8.3 Vykreslení výstupního napětí na čase

8.2 Step up měnič se stabilizátorem

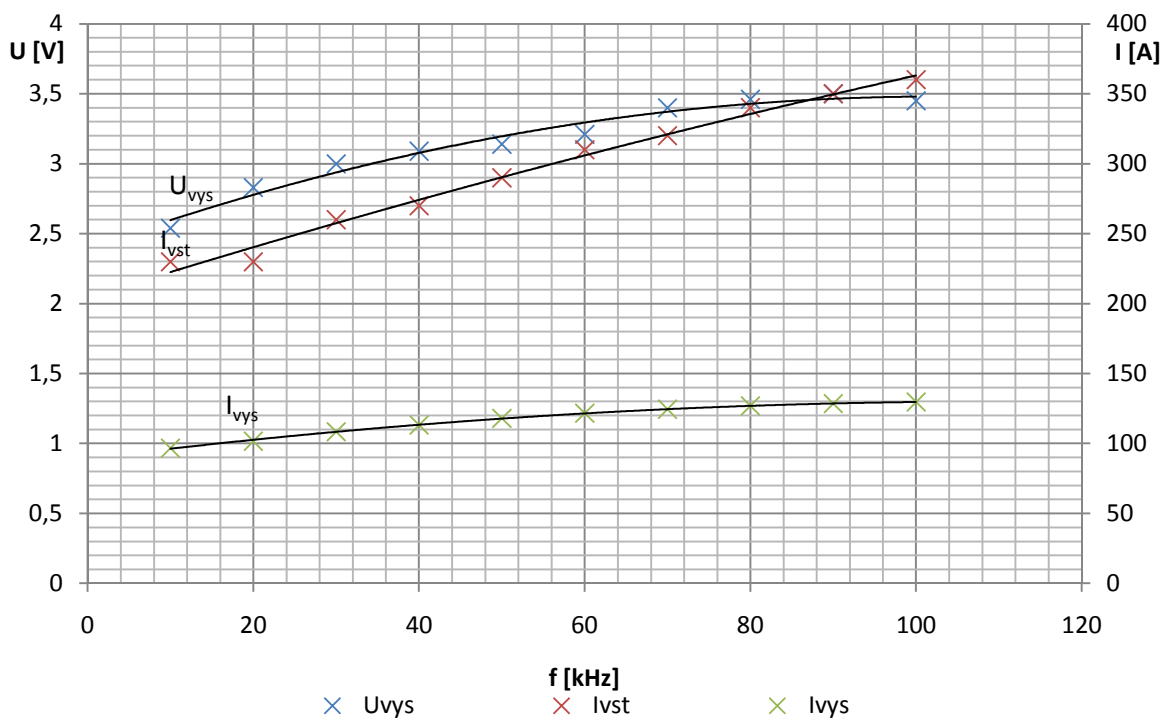
Zvyšující měnič se stabilizátorem je vylepšená varianta obyčejného Step up měniče, kde zařazením na výstup běžného Step up měniče stabilizátor 7805 vyhlazujeme výstupní napětí. Konstrukcí i principem je stejný a problémy z předchozí varianty jednoduchého Step up měniče přetrvávají, jen z výstupu můžeme odebírat méně zvlněné napětí.

Tabulka 8.2 Naměřené hodnoty

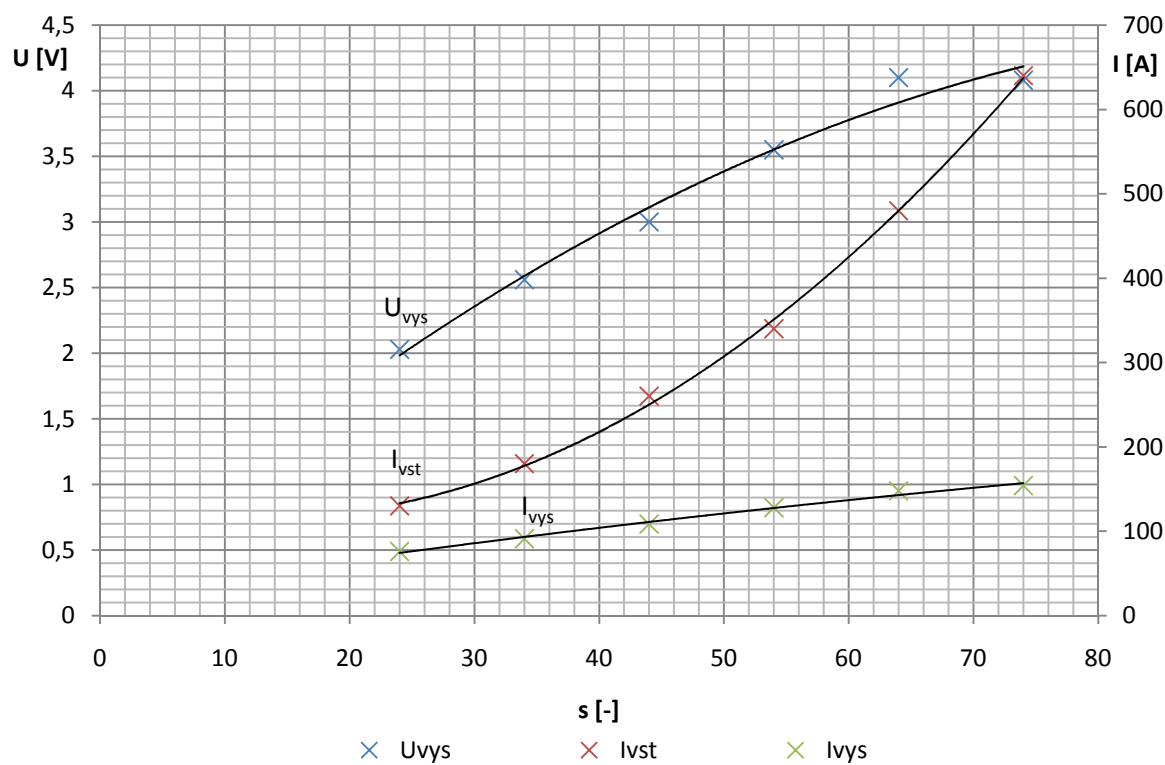
s	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[-]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
24	130	76,0	2,8	2,03
34	180	91,2	2,8	2,56
44	260	108,5	2,8	3,00
54	340	127,9	2,8	3,55
64	480	147,7	2,8	4,10
74	640	154,1	2,8	4,08

f	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[kHz]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
10	230	96,8	2,8	2,54
20	230	101,7	2,8	2,83
30	260	108,5	2,8	3,00
40	270	113,3	2,8	3,09
50	290	118,0	2,8	3,14
60	310	121,7	2,8	3,21
70	320	124,6	2,8	3,40
80	340	127,0	2,8	3,46
90	350	128,6	2,8	3,50
100	360	129,7	2,8	3,45

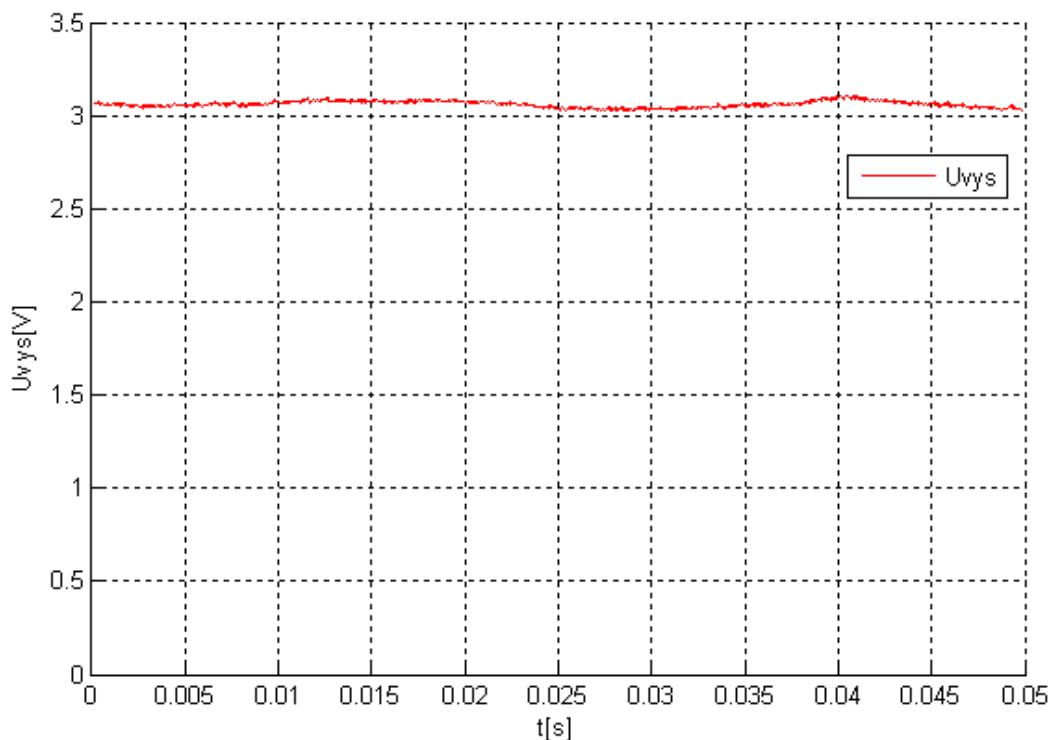
Po úpravě předchozího obvodu pomocí stabilizátoru, kdy napětí činilo 54V, je hodnota na výstupu požadovaných 5V.



Obrázek 8.4 Závislost veličin na frekvenci



Obrázek 8.5 Závislost veličin na střídě



Obrázek 8.6 Vykreslení výstupního napětí na čase

8.3 Jednočinný propustný měnič

Tento typ měniče, jako funkční zvyšující měnič pro nabíječku, je nevhodný a zbytečně složitý.

Výhody měniče jsou, že umí přenášet velké výkony a umí velké výstupní napětí, tyto výhody, ale nevyužijeme.

Při srovnání s jeho nevýhodami, kdy můžeme mluvit, že jeho tranzistory jsou v podstatě zapojeny do série, čímž vznikají dvojnásobné ztráty a při napájení z 3 voltů je to docela podstatná věc. Při malém vstupním napětí roste magnetizační proud podle vztahu (4.3.1) nade všechny meze. Dále malé vstupní napětí vede k velkému pracovnímu proudu při daném výkonu, který chceme přenášet na výstup. Stále se, ale snažíme, aby byl magnetizační proud, co nejmenší. Magnetizačním proudem jsou namáhány tranzistory měniče. Další problém u tohoto měniče je s buzením tranzistorů, museli bychom mít dva shodné budiče a tím zajistit dva shodné budící signály pro tranzistory. Musejí být vzájemně galvanicky oddělené. Emitory tranzistorů jsou na jiném potenciálu, a proto je nemůžeme vztáhnout ke společné zemi. Galvanické oddělení bývá řešeno impulsními transformátory či pomocí optočlenů.

Provedl jsem návrh tohoto měniče, ale měnič nebyl postaven a tudíž ani změřen, kvůli jeho nevýhodám. Když vezmeme v potaz, že naši nabíječku chceme, co nejmenší, tak tato varianta není vhodná a tudíž neodpovídá našim požadavkům.

8.4 Jednočinný propustný měnič s demagnetizačním vinutím

Měnič s demagnetizačním vinutím pracuje na stejném principu, jako jednočinný propustný měnič. Jedná se o měnič, kde se nachází jenom jeden spínací prvek a k demagnetizaci, nepoužíváme demagnetizační diody, ale demagnetizační vynutí, jak cítíme z názvu.

Výhodou tohoto zapojení jsou minimální ztráty na spínacím prvku a řízení spínacího prvku.

Nevýhody jsou v transformátoru, kde musíme namotat další vinutí (demagnetizační), které musí mít těsnou vazbu s primárním vinutím, jinak by nedocházelo k dokonalé demagnetizaci a tím by rostly ztráty zapojení. Vzhledem k tomu, že nejsme schopni zajistit dostatečně těsnou vazbu mezi vinutím, je toto zapojení vhodné pro přenos malých výkonů.

Pro náš případ nabíječky, kdy nepřenášíme, žádné velké výkony a ztráty na spínacích prvcích jsou poloviční než v předchozím případě se, jeví toto zapojení, jako možný způsob použití. Při konstrukci tohoto měniče, kdy jsem namotával na toroidní jádro primární, demagnetizační a sekundární vinutí se nevytvořila dokonalá vazba mezi vinutími. I když primární vinutí bylo rozloženo rovnoměrně po celém jádře, demagnetizační vinutí bylo namotáno, v těsné vazbě k primárnímu vynutí s opačným smyslem a sekundární vynutí, bylo rovnoměrně rozprostřeno mezi jednotlivé závity primárního vinutí, docházelo tak ke ztrátám. Při proměření indukčnosti sekundárního vinutí, kdy jsem zkratoval primární vinutí a pomocí LCR metru jsem změřil indukčnost sekundárního vinutí, mi indukčnost vyšla:

Tabulka 8.3 Velikost ekvivaletního odporu na výstupu

Při zkratování hlavní vinutí				Pro zkratování demagnetizační vinutí			
	f[kHz]	L_{σ} [mH]	$R_{\sigma ekv}$ [Ω]		f[kHz]	L_{σ} [μH]	$R_{\sigma ekv}$ [Ω]
Sekundární vinutí	150	2,03	304,5	Sekundární vinutí	150	3,51	0,527
Primární vinutí	150	2,49	273,5	Primární vinutí	150	6,55	0,983
Sekundární vinutí	30	2,02	60,6	Sekundární vinutí	30	3,51	0,105
Primární vinutí	30	10,85	325,5	Primární vinutí	30	11,78	0,353
Sekundární vinutí	50	2,06	103	Sekundární vinutí	50	3,44	0,172
Primární vinutí	50	5,25	262,5	Primární vinutí	50	3,86	0,193

Naměřené hodnoty indukčnosti vinutí L_{σ} dosadíme do vzorce pro výpočet imaginárního ekvivalentního odporu $R_{\sigma ekv}$, který se nám projeví, na straně sekundárního vynutí. Velikost odporu nám udává strmost poklesu výstupního napětí. Ekvivaletní odpor $R_{\sigma ekv}$, se spočítá podle vztahu:

$$R_{\sigma ekv} = f \cdot L_{\sigma} \quad (9.2.1)$$

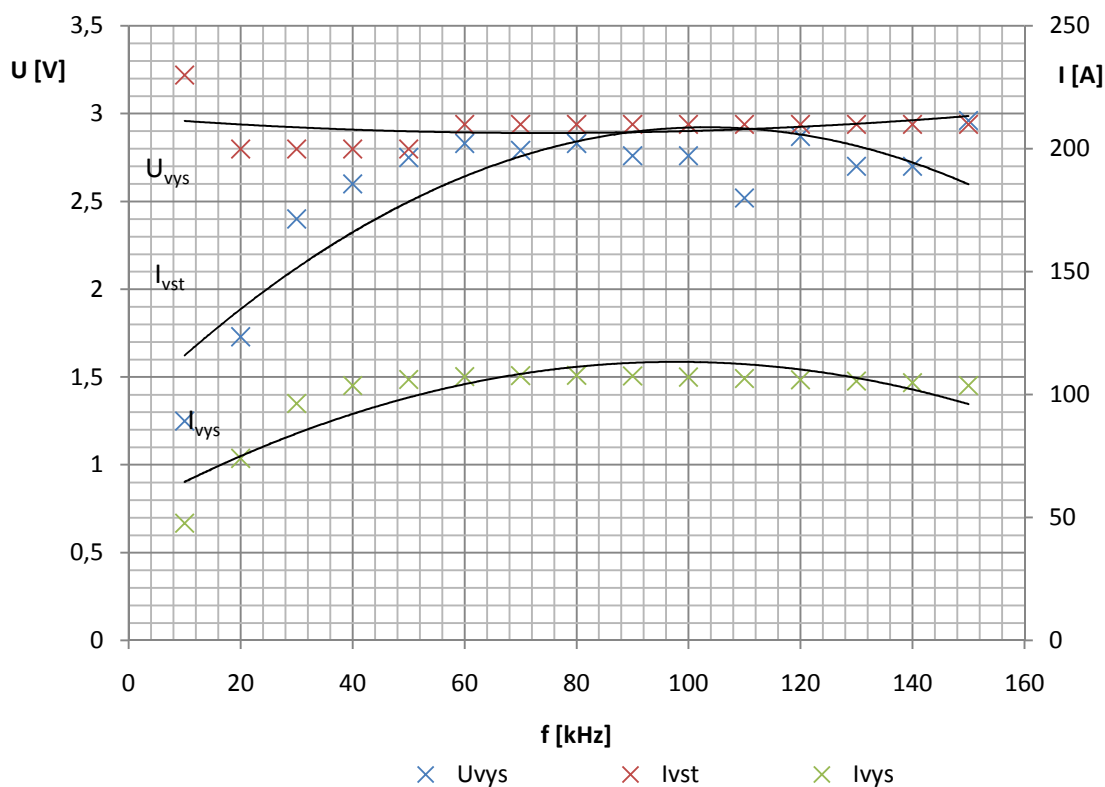
Z důvodu nedokonalosti namotání transformátoru a poměrně větší konstrukce, jsem tento měnič zavrhnul.

Tabulka 8.4 Naměřené hodnoty

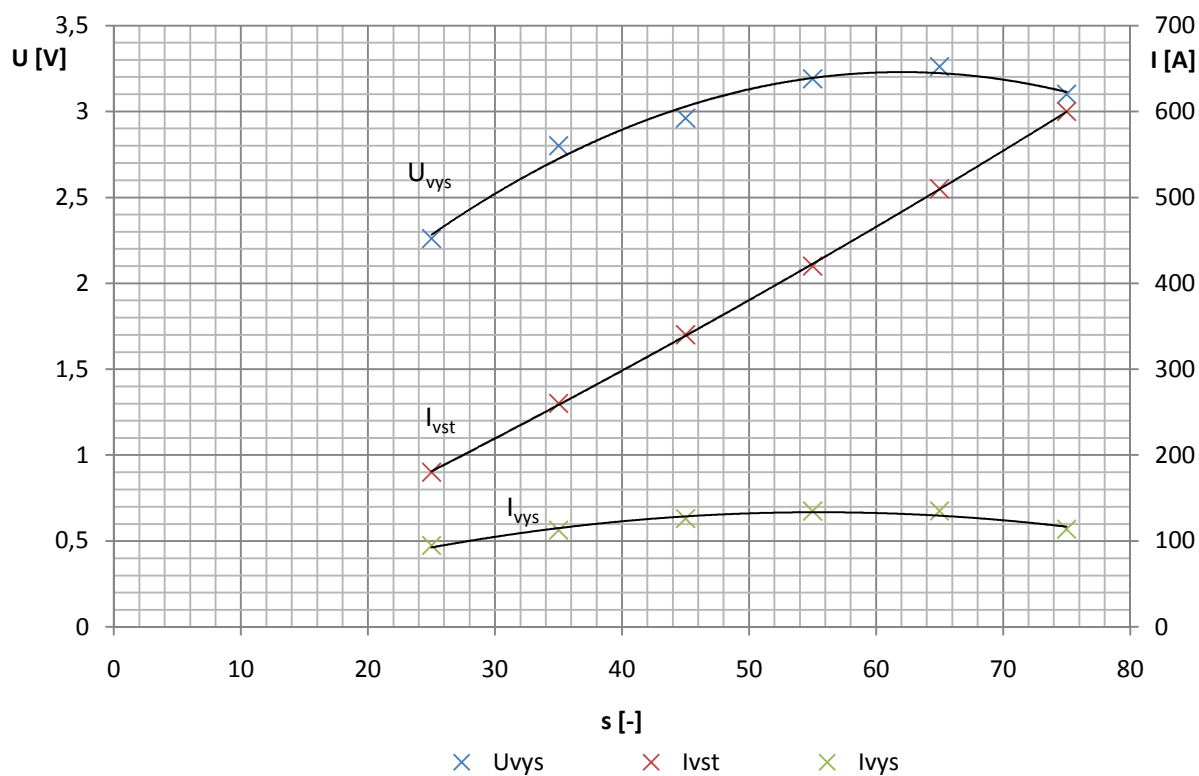
s	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[-]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
25	180	94,8	2,8	2,26
35	260	112,6	2,8	2,80
45	340	125,9	2,8	2,96
55	420	134,7	2,8	3,19
65	510	134,8	2,8	3,26
75	600	113,6	2,8	3,10

f	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[kHz]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
10	230	47,7	2,8	1,25
20	200	74,1	2,8	1,73
30	200	96,4	2,8	2,40
40	200	103,7	2,8	2,60
50	200	106,2	2,8	2,75
60	210	107,4	2,8	2,83
70	210	107,8	2,8	2,79
80	210	107,9	2,8	2,83
90	210	107,7	2,8	2,76
100	210	107,2	2,8	2,76
110	210	106,6	2,8	2,52
120	210	106,1	2,8	2,87
130	210	105,6	2,8	2,70
140	210	104,9	2,8	2,70
150	210	103,7	2,8	2,96

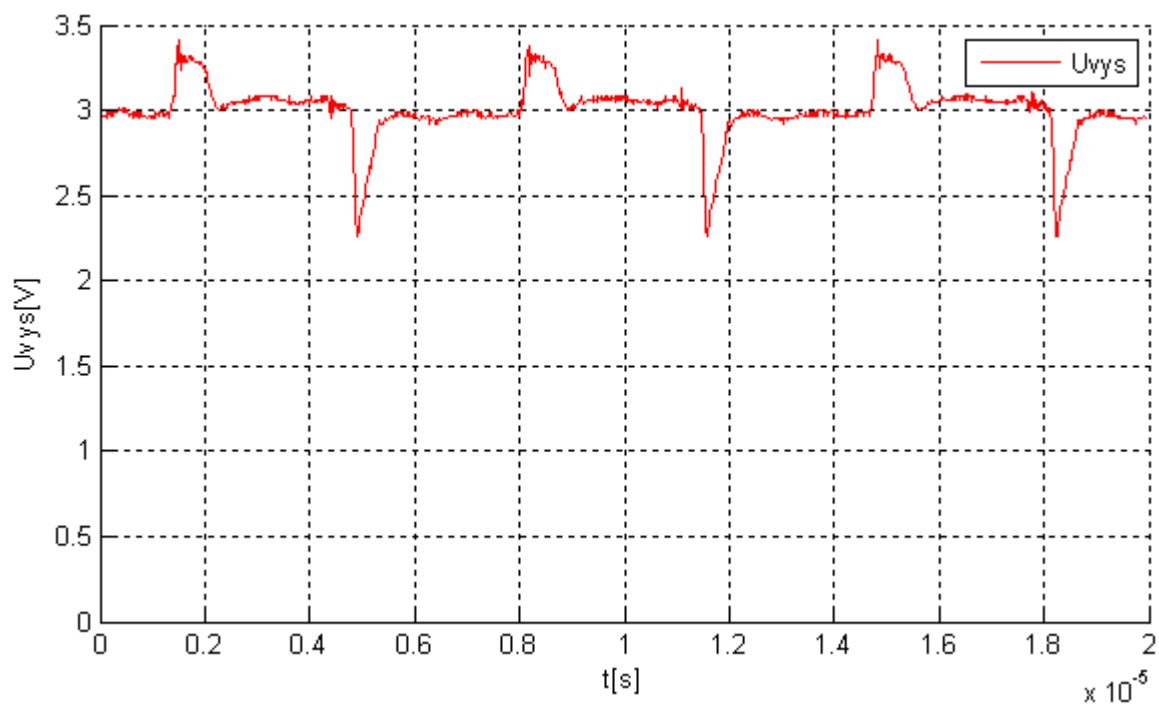
Napětí na prázdkno je zvýšení a jeho velikost je 16V.



Obrázek 8.7 Závislost veličin na frekvenci



Obrázek 8.8 Závislost veličin na střídě



Obrázek 8.9 Výstupní napětí v závislosti na čase

8.5 Jednočinný propustný měnič s demagnetizací do Zenerovy diody

Tento měnič pracuje obdobně, jako jednočinný propustný měnič s demagnetizačním vinutím, kde místo demagnetizačního vinutí je do obvodu zařazena Zenerova dioda. Kde využíváme toto Zenerovo napětí k demagnetizaci v době vypnutí spínacího prvku.

Výhodou měniče jsou malé ztráty na spínacím prvku a jednoduchost jeho řízení.

Nevýhodou tohoto měniče vůči měniči s demagnetizačním vinutím je, že výkon při demagnetizaci neodevzdává zpět do zdroje, ale bez užitku se proměňuje na Zenerově diodě v teplo.

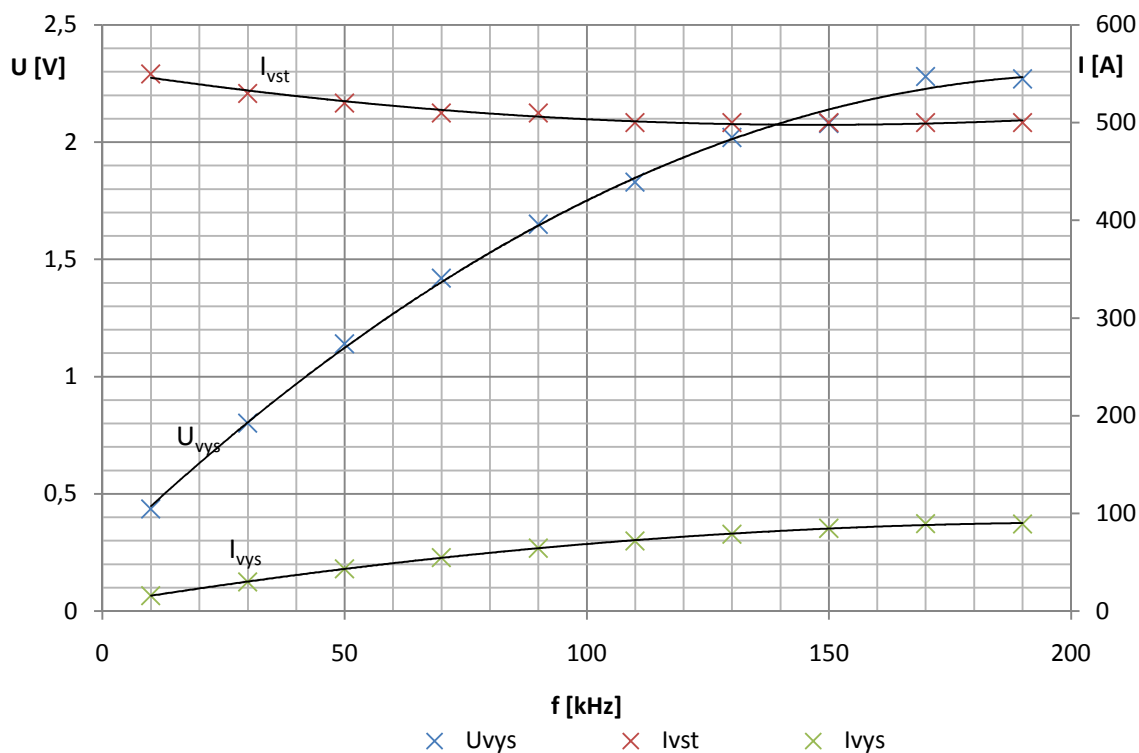
Při proměřování tohoto měniče jsme narazili na stejný problém, jako v předchozím případě s demagnetizačním vinutím a to v transformátoru a v jeho rozptylových indukčnostech, při namotávání primárního a sekundárního vinutí. Díky tomuto problému jsme měli velikou strmost úbytku napětí na výstupu při zatížení. Ačkoli bych zkoušel přimotávat více závitů na sekundárním vinutí a tím zvedat výstupní napětí, tak by to nebylo dostačující. Napětí na sekundární straně by muselo být velké, ale to by dělalo neplechu u jiných součástek a bylo by to nevyhovující.

Tabulka 8.5 Naměřené hodnoty

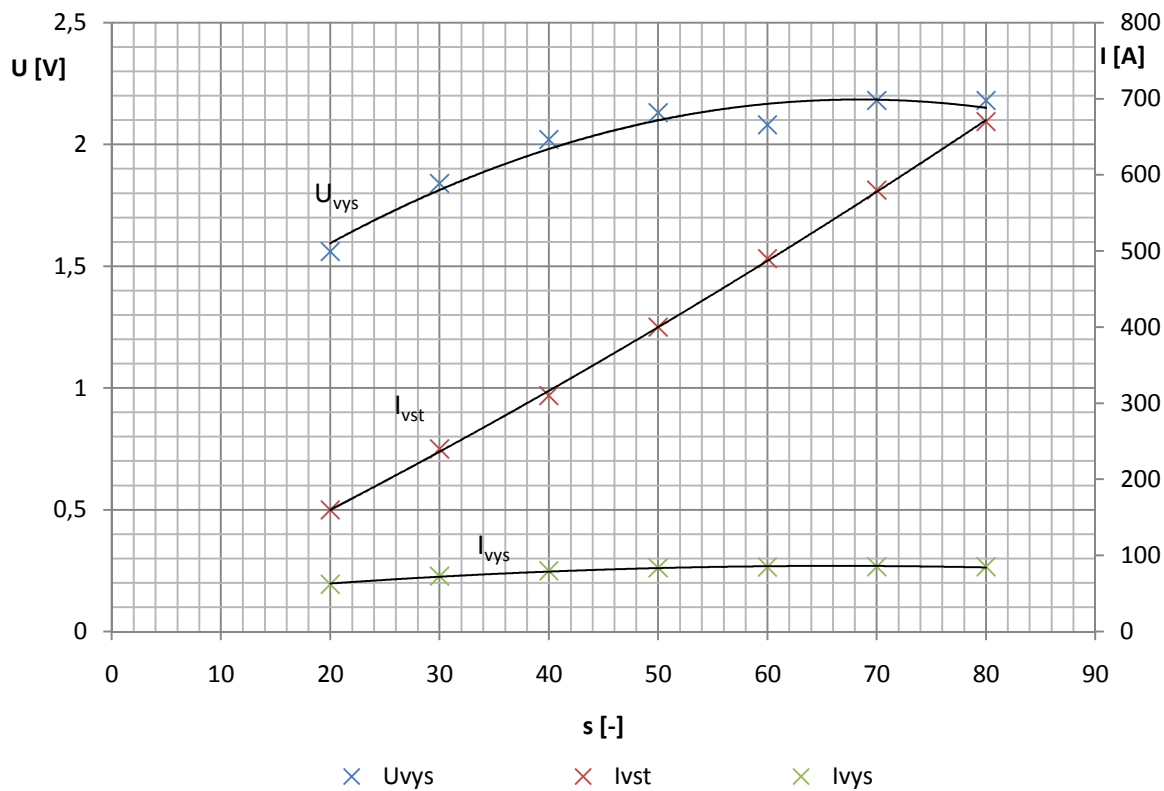
s	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[-]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
20	160	62,1	2,8	1,56
30	240	72,9	2,8	1,84
40	310	79,8	2,8	2,02
50	400	83,7	2,8	2,13
60	490	84,8	2,8	2,08
70	580	85,3	2,8	2,18
80	670	85,3	2,8	2,18

f	I_{vst}	I_{vys}	U_{vst}	U_{vys}
[kHz]	[mA]	[mA]	[V]	[V]
10	550	16,0	2,8	0,436
30	530	30,0	2,8	0,802
50	520	43,5	2,8	1,140
70	510	54,9	2,8	1,420
90	510	64,5	2,8	1,650
110	500	71,8	2,8	1,830
130	500	78,8	2,8	2,020
150	500	84,8	2,8	2,080
170	500	89,5	2,8	2,280
190	500	89,2	2,8	2,270

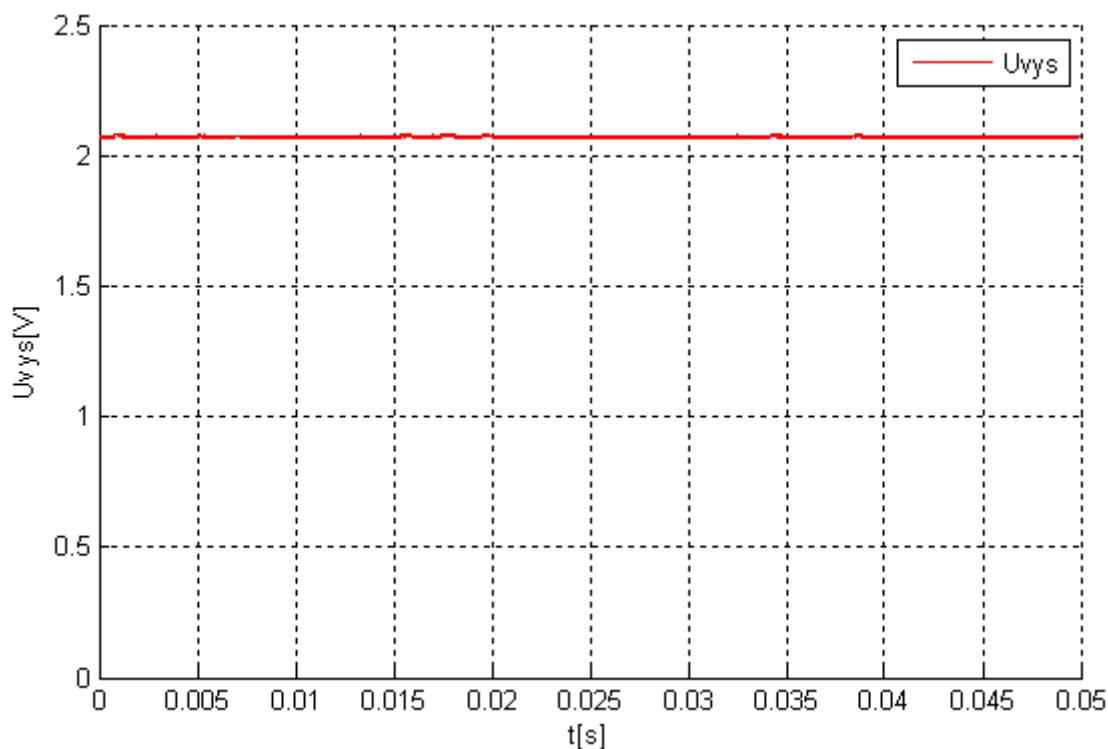
Napětí naprázdno přesahuje rámec, který požadujeme a napětí činní 27V. Toto napětí by už mohlo činit problémy.



Obrázek 8.10 Závislost veličin na frekvenci



Obrázek 8.11 Závislost veličin na střídě



Obrázek 8.12 Výstupní napětí v závislosti na čase

8.6 Měnič s integrovaným obvodem L6920

V dnešní době máme spoustu integrovaných obvodů, které mají různé vlastnosti a různá použití. Pro konstrukci mého nabíječky jsem si vybral integrovaný obvod L6920. Uvnitř v obvodu je příprava na ochranu baterií. Velikost napětí si můžeme doregulovat podle svého, připojením odporového děliče. Poté má ochranu proti zkratu a přepólování. Ochrana přepólování je řešena tak, že si obvod myslí, že jím protéká nulový proud.

Toto zapojení je jednoduché a stačí pár součástek na osazení kolem integrovaného obvodu, aby fungoval zcela správně. Popsané vlastnosti patří mezi jeho výhody. Nevýhodou měniče je omezenost výstupního napětí a výstupního proudu.

Účinnost tohoto měniče spočítáme ze vztahu:

$$P = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1} \cdot 100 = \frac{4,351 \cdot 400 \cdot 10^{-3}}{2,957 \cdot 658 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 89,45\% \quad (8.6.1)$$

Účinnost měniče, jak jsme spočítali je necelých 90%, to je na měnič dostačující účinnost.

Tabulka 8.6 Naměřeného hodnoty pro výstupní napětí 3V a 2,8V

U_{vst}	U_{vys}	I_{vst}	I_{vys}
[V]	[V]	[mA]	[mA]
3	5,124	151	25
3	5,050	187	51
3	5,000	234	77
3	4,900	281	103
3	4,890	333	126
3	4,952	389	150
3	4,914	431	177
3	4,870	438	200
3	4,780	453	228
3	4,680	464	249
3	4,640	506	275
3	4,590	554	304
3	4,456	575	326
3	4,450	603	353
3	4,449	634	375
3	4,351	658	400

U_{vst}	U_{vys}	I_{vst}	I_{vys}
[V]	[V]	[mA]	[mA]
2,8	5,130	125	46
2,8	5,060	170	79
2,8	5,047	220	103
2,8	5,018	250	126
2,8	4,979	302	152
2,8	4,939	349	175
2,8	4,904	383	202
2,8	4,872	422	228
2,8	4,824	494	255
2,8	4,797	545	275
2,8	4,748	609	305
2,8	4,655	643	324
2,8	4,538	662	353
2,8	4,418	694	377
2,8	4,105	720	403

Tabulka 8.7 Naměřeného hodnoty pro výstupní napětí 2,6V a 2,4V

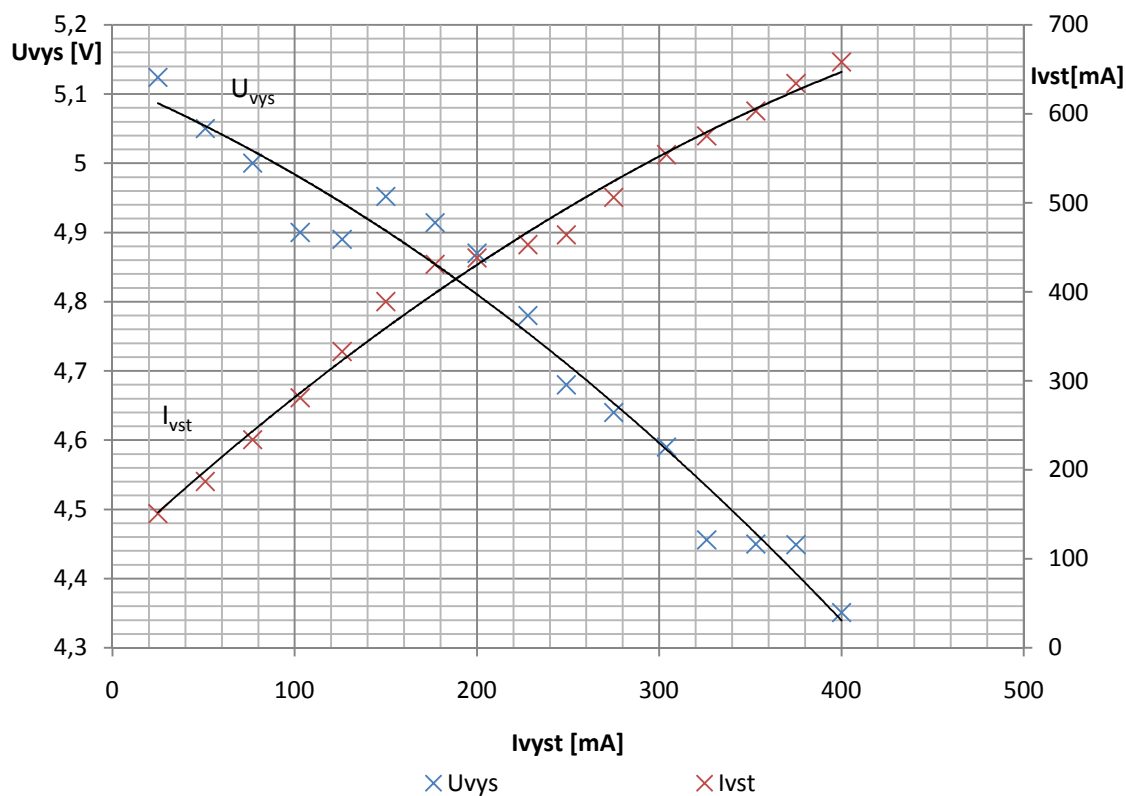
U_{vst}	U_{vys}	I_{vst}	I_{vys}
[V]	[V]	[mA]	[mA]
2,6	5,121	158	26
2,6	5,070	164	50
2,6	5,037	206	75
2,6	4,920	231	103
2,6	4,920	319	125
2,6	4,920	359	152
2,6	4,886	414	177
2,6	4,851	474	206
2,6	4,813	526	228
2,6	4,772	571	255
2,6	4,731	633	275
2,6	4,600	657	301
2,6	4,531	683	329
2,6	4,310	717	352
2,6	3,946	718	376
2,6	3,743	719	400

U_{vst}	U_{vys}	I_{vst}	I_{vys}
[V]	[V]	[mA]	[mA]
2,4	5,110	141	27
2,4	5,027	173	50
2,4	4,988	216	75
2,4	4,941	262	100
2,4	4,882	349	128
2,4	4,830	412	150
2,4	4,793	461	174
2,4	4,745	514	205
2,4	4,702	572	228
2,4	4,623	636	251
2,4	4,499	655	275
2,4	4,320	706	301
2,4	3,997	722	325
2,4	3,736	724	353
2,4	3,447	728	377
2,4	3,232	730	400

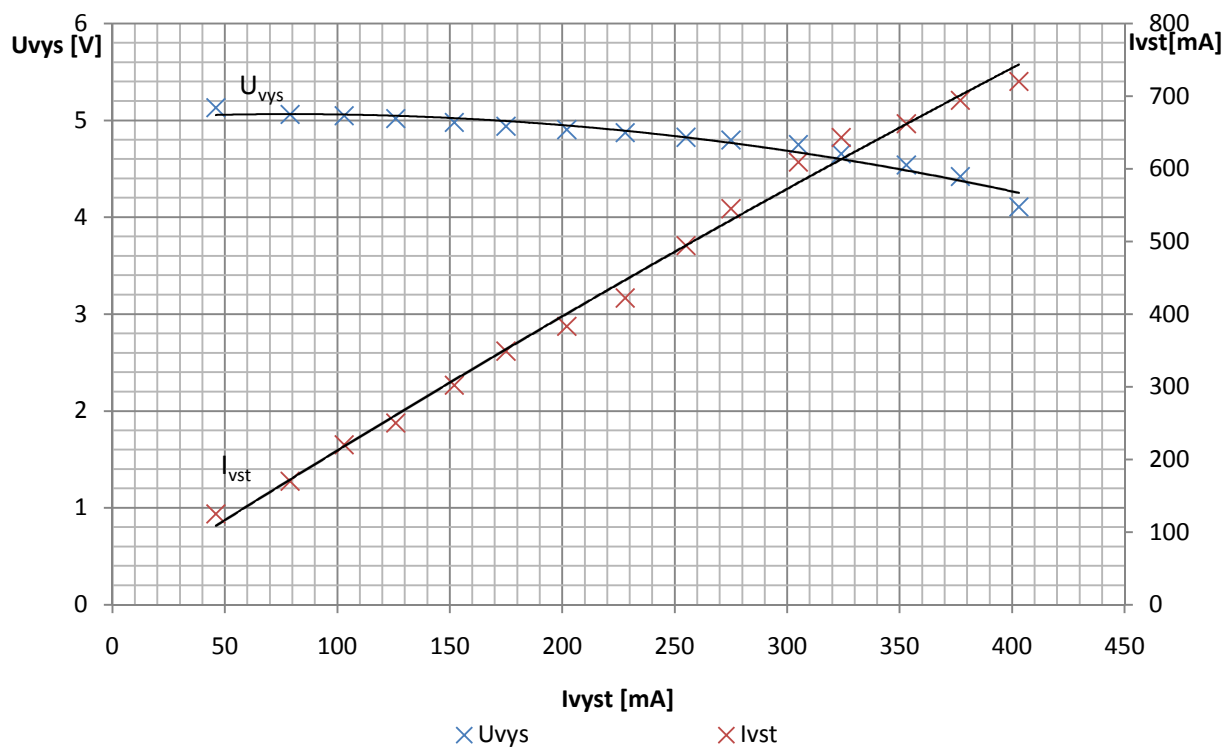
Tabulka 8.8 Naměřené hodnoty pro výstupní napětí 2,2V

U_{vst}	U_{vys}	I_{vst}	I_{vys}
[V]	[V]	[mA]	[mA]
2,2	5,059	142	27
2,2	4,984	187	52
2,2	4,937	232	75
2,2	4,890	295	100
2,2	4,832	353	124
2,2	4,777	407	153
2,2	4,730	453	177
2,2	4,676	531	202
2,2	4,630	581	224
2,2	4,520	629	250
2,2	4,337	677	277
2,2	3,939	690	305
2,2	3,749	701	324
2,2	3,392	702	355
2,2	3,226	705	373
2,2	3,042	706	402

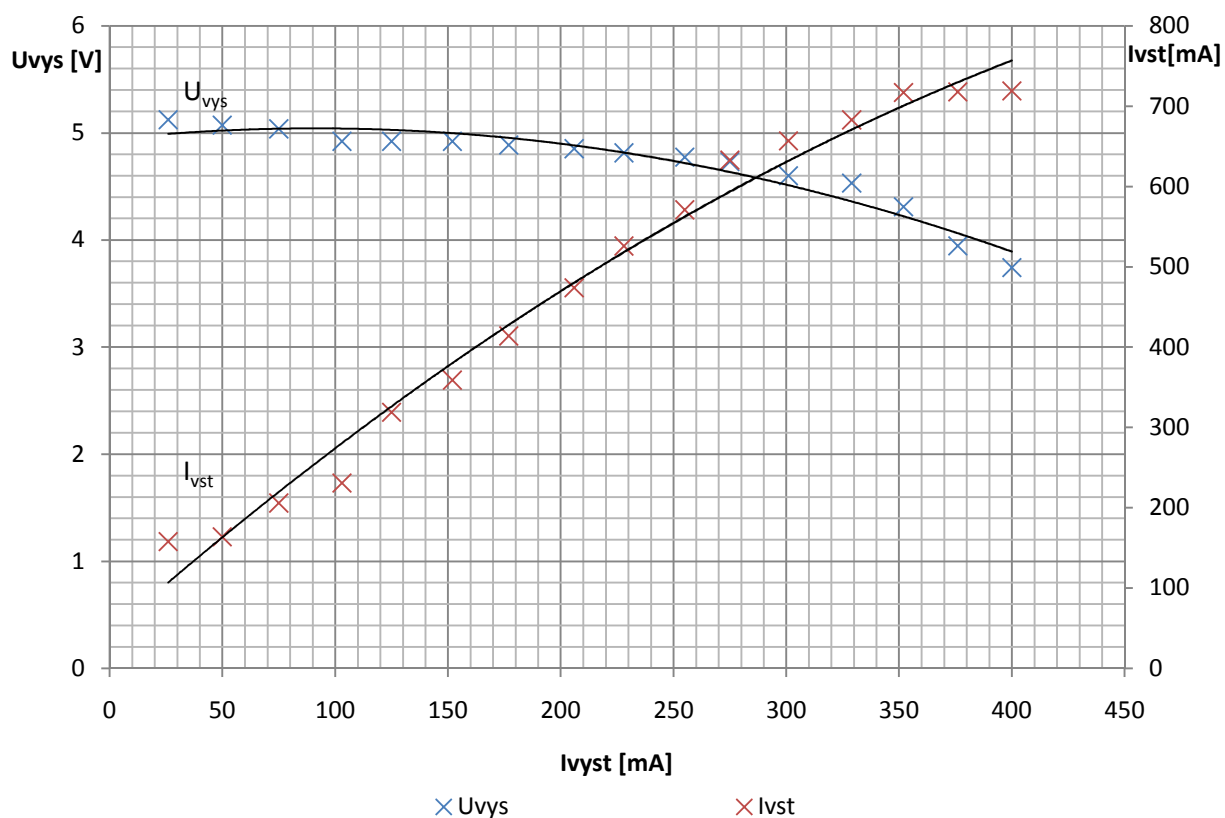
Napětí naprázdno na výstupu odpovídá 5V, které požadujeme na výstupu.



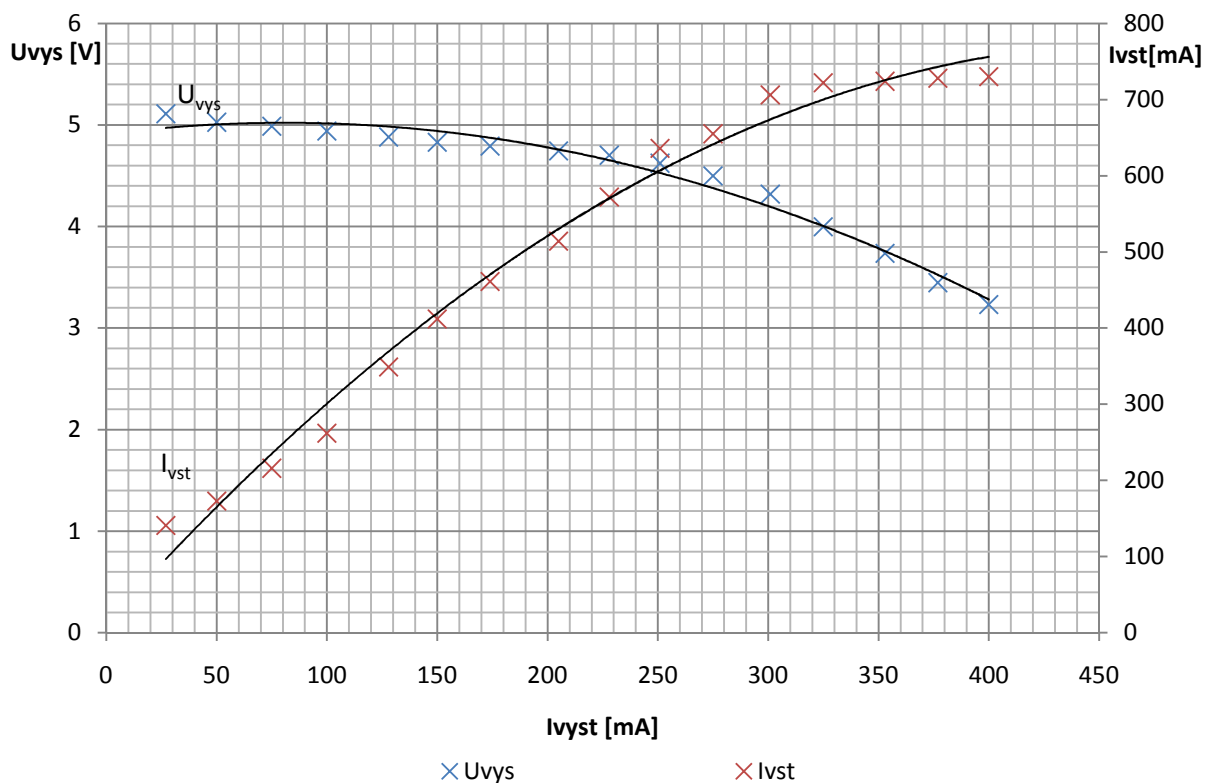
Obrázek 8.13 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 3V



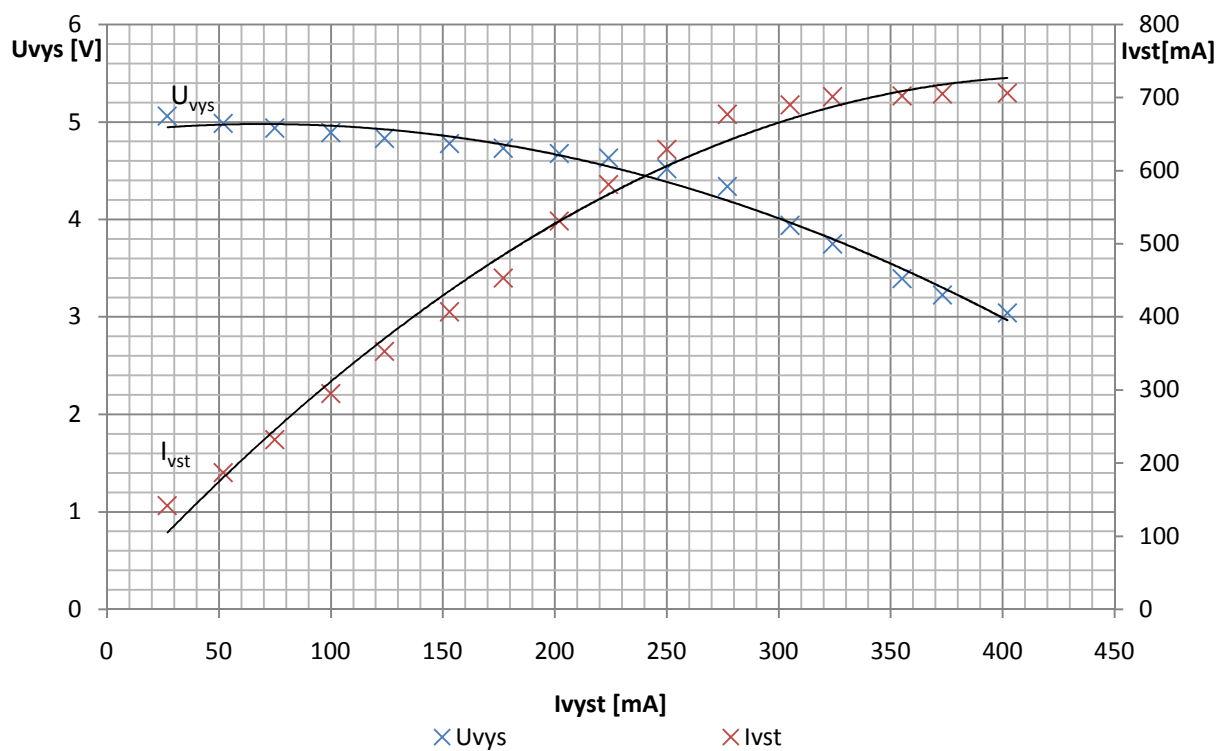
Obrázek 8.14 Závislosti veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,8V



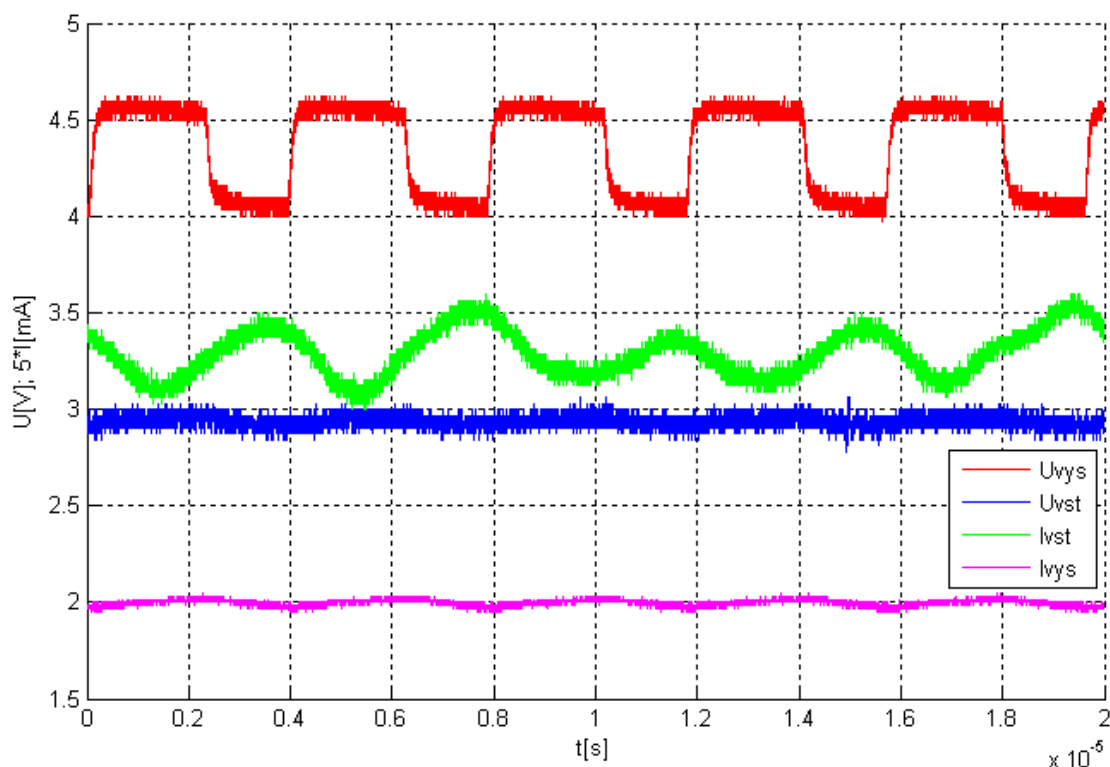
Obrázek 8.15 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,6V



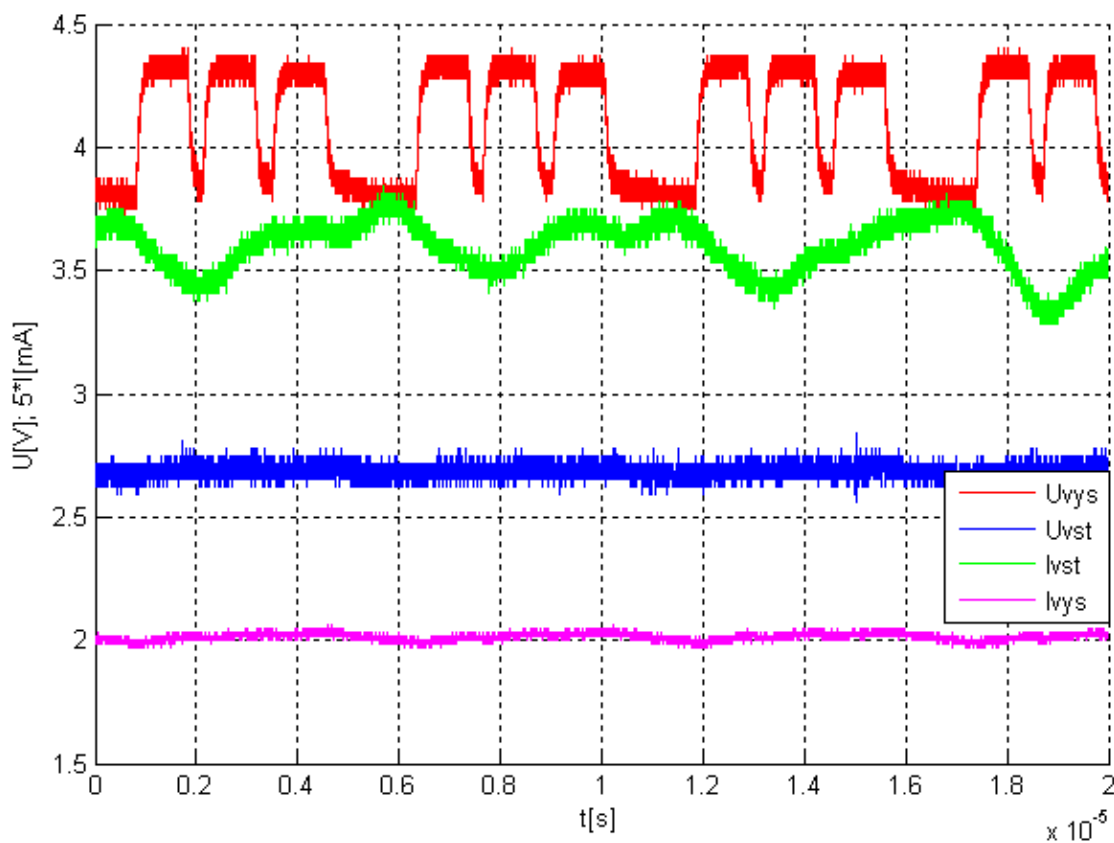
Obrázek 8.16 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,4V



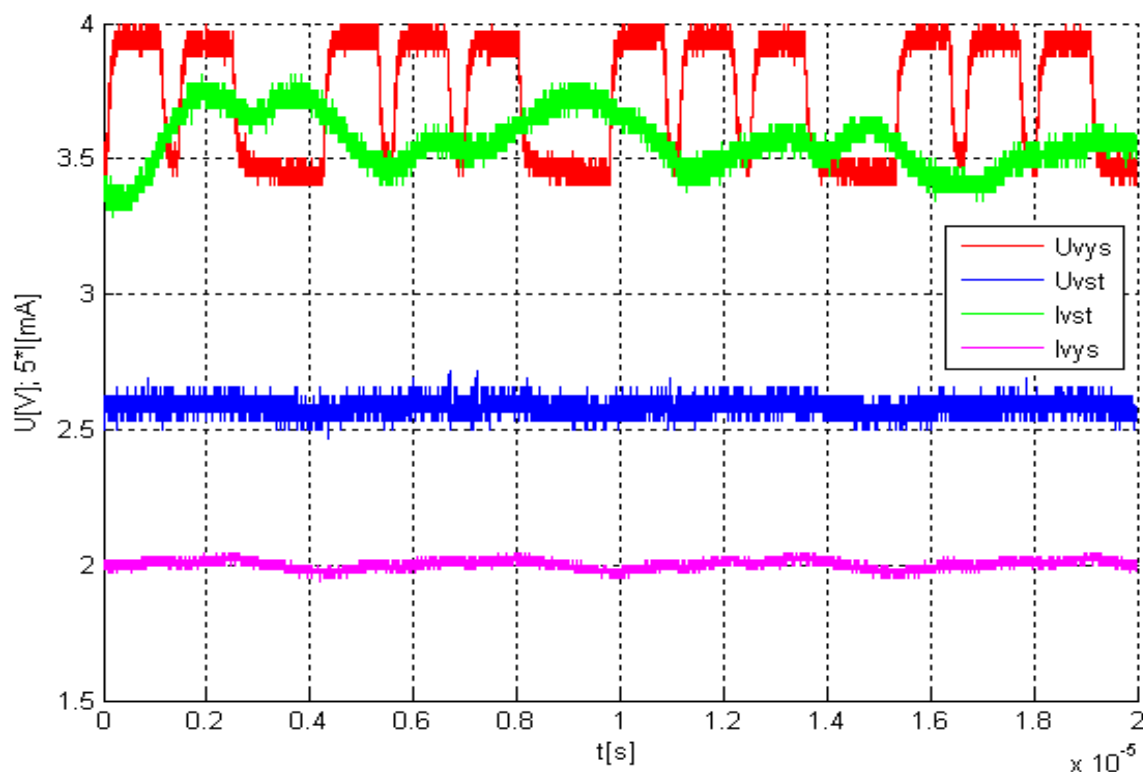
Obrázek 8.17 Závislost veličin na výstupním proudu pro vstupní napětí 2,2V



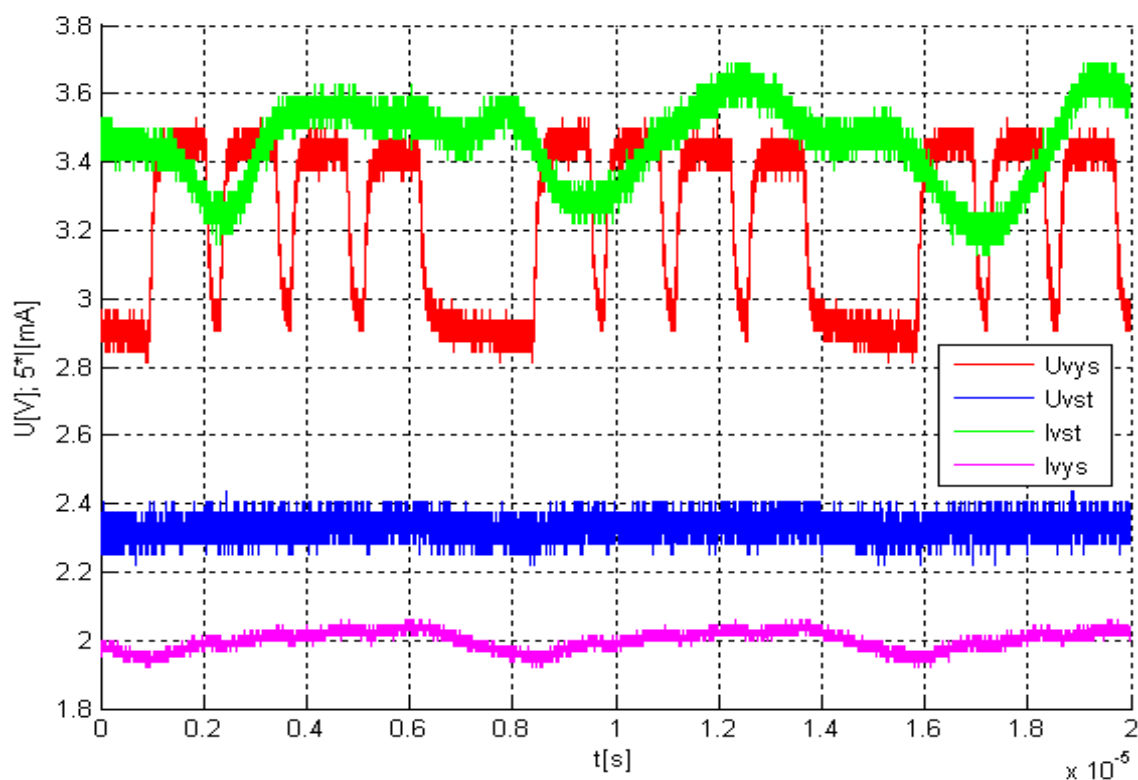
Obrázek 8.18 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 3V a výstupní proud 400mA



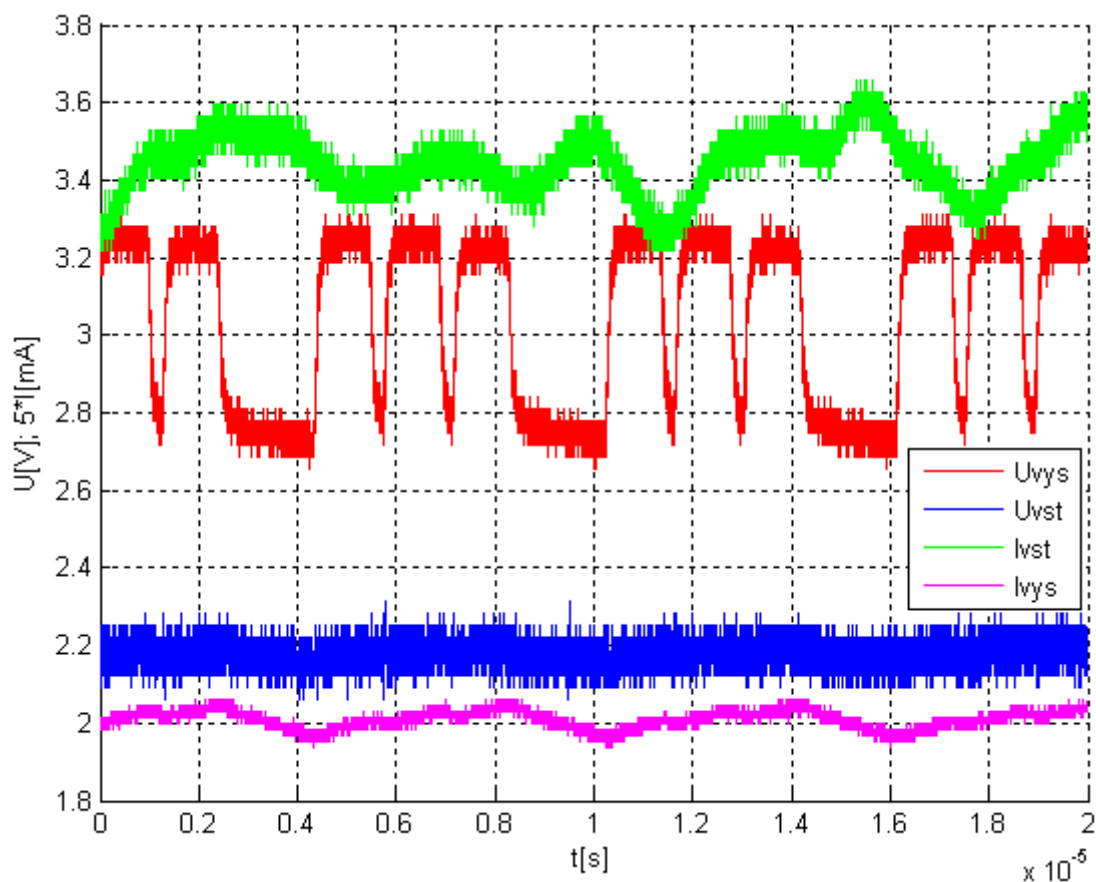
Obrázek 8.19 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,8V a výstupní proud 400mA



Obrázek 8.20 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,6V a výstupní proud 400mA



Obrázek 8.21 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,4V a výstupní proud 400mA



Obrázek 8.22 Závislost veličin na čase pro vstupní napětí 2,2V a výstupní proud 400mA

8.6.1 Výsledná nabíječka by mohla vypadat následovně



Obrázek 8.23 Jedna varianta nabíječky



Obrázek 8.24 Druhá varianta nabíječky bez krytu



Obrázek 8.25 Pohled na nabíječku z čelní strany

ZÁVĚR

V diplomové práci se zabývám návrhem nabíječky na libovolný mobilní telefon.

Krátkým přehledem napájecího zdroje pro tuto nabíječku jsem poukázal, že jako zdroj můžeme zvolit libovolnou tužkovou baterii velikosti AA, která má kapacitu alespoň 1200mAh. Na základě srovnání různých typů baterií je vhodné zvolit dobíjecí baterii NiMH, která je běžně dostupná, má velkou škálu různých kapacit. Pro naši nabíječku využijeme těchto baterií s kapacitou 2000mAh, jmenovitou hodnotou napětí 1,2V a s 1000 dobíjecími cykly.

Existují různé druhy zapojení měničů pro mobilní nabíječku. Můžeme si vybrat jednoduchý zvyšující měnič s tranzistorem a cívkou, impulsní měnič s transformátorem a dále měnič řízený pomocí čipu k tomu určený. Nejvhodnější měnič podle konstrukce vychází měnič s využitím integrovaného obvodu. Zvládá všechny ochrany a není zapotřebí tolik součástek okolo, jako kdyby se měnič celý stavěl pomocí tranzistoru s cívkou. Kde by se řešilo dalšími součástkami řízení tranzistoru, hlídání stavu vybití baterie, regulace výstupního napětí. V práci jsem provedl návrhy, všech druhů měničů. S nejstabilnějším výstupním napětím vyšel měnič s integrovaným obvodem L6920. Tento obvod má už připravený piny i na ochranu baterií a dá se regulovat jak vstupní napětí, tak výstupní napětí. Vhodným osazením součástek okolo se dá zlepšit účinnost a nastavitelnost této nabíječky. Tento měnič při vstupním napětí 3V, které jsou na počátku nabíjení a při zatížení 400mA má na výstupu 4,351V. Při vstupním napětí 2,2V a zatížení 400mA má na výstupu 3V. Při uvažování, že baterie telefonu by měla být, ke konci nabíjení už téměř nabitá, nepoteče už výstupem, tak velký proud a napětí na výstupu bude větší.

V tabulce uvádím všechny měniče pro srovnání:

Tabulka Srovnání zvyšujících měničů

Název měniče		Step up	Step up se 7805	Měnič s DV	Měnič se ZD	L6920
Parametry		s=44, f=30kHz	s=44, f=30kHz	s=45, f=150kHz	s=60, f=150kHz	-
Výstupní napětí [V]	Naprázdko	54	5	16	27	5
	Při zatížení $I_{VYS} = 100\text{mA}$	3,9	3	2,96	2,08	4,890
	Při zatížení $I_{VYS} = 400\text{mA}$	-	-	-	-	4,351
Vstupní proud [A] při zatížení 100mA		0,26	0,26	0,42	0,49	0,281 0,658**
Ochrana vybití		ne*	ne*	ne*	ne*	ano
* ochrana může být zařazena do obvodu, ale musíme počítat s dalším úbytkem napětí						
** hodnota vstupního proudu při zatížení 400mA						



LITERATURA

- [1] Wikipedie, In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2010-12-06]. Dostupné z www: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Akumul%C3%A1tor>>.
- [2] PATOČKA, M. *Vybrané statě z výkonové elektroniky Svazek II: Měniče bez impulzního transformátoru*: skripta VUT Brno 2004
- [3] VOREL, P., PROCHÁZKA, P. *Řídící členy v elektrických pohonech*: skripta VUT Brno 2009
- [4] PATOČKA, M., VOREL, P. *Průmyslová elektronika*: skripta VUT Brno 2007
- [5] GME, GME [online], datasheet L6920 : <<http://www.gme.cz/cz/l6920d-smd-p974-011.html>>
- [6] Alkaline Manganese Dioxide Batteries [online]. Dostupné z www: <http://support.radioshack.com/support_tutorials/batteries/bt-alk-main.htm>
- [7] GES Elektronik, [online]. Dostupné z www: <www.ges.cz>
- [8] GME Elektronik [online]. Dostupné z www: <www.gme.cz>
- [9] Novotný, V., Vorel, P., Patočka, M. *Napájení elektrických zařízení*: skripta VUT BRNO
- [10] PATOČKA, M. *Vybrané statě z výkonové elektroniky Svazek IV: Magnetické obvody ve výkonové elektrotechnice, Pulzní měniče s transformátorem*: skripta VUT Brno 2008