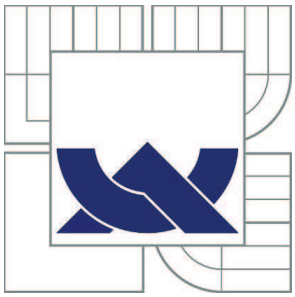
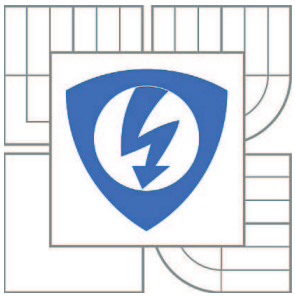


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SPÍNANÁ NABÍJEČKA OLOVĚNNÝCH AKUMULÁTORŮ

SWITCHED BATTERY CHARGER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

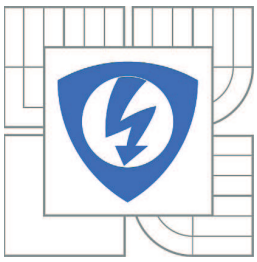
AUTOR PRÁCE — VOJTĚCH ŠPATENKA

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. JAN KOVÁŘ

SUPERVISOR

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Vojtěch Špatenka ***ID:*** 106814
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Spínaná nabíječka olověnných akumulátorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku optimálního nabíjení olovněných akumulátorů. Navrhněte spínaný zdroj tak, aby byl schopen nabíjet akumulátory o kapacitě 120Ah. Navrhněte vhodné ovládání, nejlépe řízené jednočipovým mikroprocesorem. Spínaný zdroj zrealizujte na vývojové desce.
Zařízení zrealizuje včetně ovládání. Změřte zakládaní parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BASSO, C.P. Switch-mode power supply SPICE cookbook. New York: McGraw Hill, 2001, 253 pages ISBN: 0-07-137509-0

Termín zadání: 8.2.2010 ***Termín odevzdání:*** 28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Jan Kovář

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
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.

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Vojtěch Špatenka

Bytem: Družstevní 350, Hradec Králové, 500 02

Narozen/a (datum a místo): 21. února 1988 v Hradci Králové

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1
Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

   ☐ disertační práce

   ☐ diplomová práce

   ☒ bakalářská práce

   ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako ..... (dále jen VŠKP nebo dílo)

   Název VŠKP: Spínaná nabíječka olověných akumulátorů

   Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jan Kovář

   Ústav: Ústav radioelektroniky

   Datum obhajoby VŠKP: _____

   VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

   ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2

   ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizovaní výpisů, opisů a rozmnoženin.

2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.

3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti

   - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
   - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
   - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
   - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
   - ☐ 10let po uzavření této smlouvy (z důvodu utajení v něm obsažených informací)

4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.

2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.

3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísni a za nápadně nevýhodných podmínek.

4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

…….. ……

Nabyvatel Autor

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem spínané nabíječky a problematikou nabíjení olověných akumulátorů. Jsou zde popsány jejich vlastnosti a nabíjecí charakteristiky. Dále popisuje návrh a zhotovení spínaného zdroje pro nabíjení těchto akumulátorů.

Návrh spínaného zdroje pomocí programu PI EXPERT 7, návrh impulzního transformátoru, výběr kostry a jádra, kompletní schéma zapojení, návrh desky plošných spojů, rozpis součástek a jejich uspořádání na desce plošných spojů.

Návrh ovládání a řízení zdroje pomocí jednočipového mikroprocesoru C8051F320 HQ od firmy Silicon Laboratories. Schema zapojení, návrh desky plošných spojů a rozpis součástek.

V konečné fázi bakalářské práce bylo navrženo a vyrobeno vhodné šasi z polykarbonátového materiálu.

V práci jsou uvedeny výsledky měření základních parametrů zdroje a jejich zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Olověný akumulátor, spínaný zdroj, nabíječka.

ABSTRACT

My bachelor thesis deals proposal of switch battery charger and with an issue of charging lead-acid accumulators. It describes their attributes and charging characteristics. Futhermore, it describes a concept and a construction of a switch-mode power supply for charging of these accumulators.

The design of a switch-mode power supply according to the programme PI EXPERT 7, the design of an impulsive compensator, the choise of a framework and a centre core, a full-scale scheme of a connection, the design of a PCB, a materials scheduling and their layout on the plate.

A concept of controls of the switch-mode power supply using single-chip microprocessor C8051F320 HQ manufactured by Silicon Laboratories. A scheme of integration, a concept of the printed circuit board and a specification of components.

At the end of the bachelor thesis was made a suitable chassis from the polycarbonate material.

The results and the evaluation of the basic parameters of the of the switch-mode power supply are included.

KEYWORDS

Lead accumulator, switch-mode power supply, charger.

ŠPATENKA, V. *Spínaná nabíječka olověných akumulátorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2009. 38 str., 12 str. příloh. Bakalářské práce. Vedoucí práce: ing. Jan Kovář.

PROHLÁŠENÍ

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

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Janu Kovářovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne ....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod **1**

1 Olověné akumulátory **2**

1.1 Složení akumulátoru ... 2

1.1.1 Záporné elektrody ... 2

1.1.2 Kladné elektrody ... 2

1.2 Rozdělení akumulátorů podle použití ... 3

1.2.1 Staniční akumulátory ... 3

1.2.2 Startovací akumulátory ... 3

1.2.3 Dopravní (trakční) akumulátory ... 4

1.3 Kapacita akumulátoru ... 4

1.4 Nabíjení ... 5

1.4.1 Nabíjení podle charakteristiky U ... 6

1.4.2 Nabíjení podle charakteristiky I ... 6

1.4.3 Nabíjení podle charakteristiky W ... 6

1.4.4 Známky plného nabití ... 7

2 Měniče **7**

2.1 Propustné měniče ... 7

2.2 Dvojčinné měniče ... 8

3 Spínané zdroje **9**

3.1 Obecně ... 9

4 Obvody TOPSwitch-GX **10**

4.1 Popis činnosti obvodů ... 10

5 Návrh spínaného zdroje **12**

5.1 Impulzní transformátor ... 12

5.2 Počítačový návrh zdroje ... 13

5.3 Návrh cívky výstupních LC filtrů ... 14

6 Realizace zařízení 15
6.1 Návrh plošného spoje zdroje 16
6.1.1 Seznam součástek 18
6.1.2 Příprava a osazení plošných spojů 19
6.1.3 Oživení spínaného zdroje 19
6.2 Návrh řízení zdroje 20
6.2.1 Mikrokontroler C8051F320 20
6.2.2 Algoritmus programu 22
6.2.3 Popis algoritmu 23
6.2.4 Ovládání nabíječky 23
6.2.5 Nabíjecí křivka 24
6.3 Realizace řízení a ovládání 24
6.4 Návrh a realizace šasi pro zařízení 29
6.5 Náklady na realizaci zařízení 31
7 Výsledky měření a jejich zhodnocení 32
7.1 Použité přístroje 35
8 Závěr 36
9 Literatura 37
10 Seznam symbolů a zkratek 38
11 Seznam příloh 39
11.1 Návrh programu PIExpert 7 40
11.2 Konstrukční výkresy shasi 45
11.3 Fotografie 48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1. 1 Rozdělení akumulátorů podle použití 3
Obr.1. 2 Závislost kapacity akumulátoru na teplotě při vybíjení. 5
Obr.1. 3 Závislost napětí článku na nabíjecím proudu (převzato z [4]). 7
Obr.2. 1 Zapojení propustného měniče s akumulační tlumivkou. 8
Obr.2. 2 Zapojení dvojčinného měniče. 8
Obr.3. 1 Blokové schéma spínaného zdroje. 9
Obr.4. 1 Základní zapojení zpětnovazebního měniče. 11
Obr.5. 1 Tvar feritového jádra impulsního transformátoru a jeho rozměry (převzato z [16]) 12
Obr.5. 2 Tvar kostřičky pro jádro impulzního transformátoru (převzato z [16]). 13
Obr.5. 3 Předběžné blokové schéma zdroje. 13
Obr.5. 4 Schéma výstupního filtračního obvodu. 14
Obr.6. 1 Schéma zapojení zdroje. 15
Obr.6. 2 DPS zdroje ze strany Botton, 1:1. 16
Obr.6. 3 DPS zdroje ze strany TOP, 1:2. 17
Obr.6. 4 Rozmístění součástek na DPS zdroje, 1:1. 17
Obr.6. 5 Blokové zapojení mikroprocesoru C8051F320, převzato z [16]. 21
Obr.6. 6 Algoritmus programu. 22
Obr.6. 7 Nabíjecí křivka. 24
Obr.6. 8 Předběžné schéma zapojení řízení zdroje pomocí mikroprocesoru C8051F320. 25
Obr.6. 9 DPS řízení a ovládání zdroje ze strany TOP, 1:1. 25
Obr.6. 10 DPS řízení a ovládání zdroje ze strany Botton, 1:1. 26
Obr.6. 11 Rozmístění součástek na DPS řízení a ovládání zdroje. 26
Obr.6. 12 Schéma zapojení obvodu s relé. 28
Obr.6. 13 DPS obvodu s relé , 1:1. 28
Obr.6. 14 Rozmístění součástek na DPS . 28
Obr.6. 15 Exploze celého šasi. 30
Obr.6. 16 Zobrazení celého šasi. 30

Obr.7. 1 Zvlnění zdroje při proudu 3A. 32
Obr.7. 2 Zvlnění zdroje při proudu 3A. 32
Obr.7. 3 Zvlnění zdroje při proudu 7,2A. 33
Obr.7. 4 Oscilogram spínání výkonového tranzistoru TOPSwitch. 34
Obr.7. 5 Graf závislosti účinnosti zdroje na výstupním výkonu. 34
Obr.11. 1 Spodní deska. 45
Obr.11. 2 Zadní deska. 45
Obr.11. 3 Levý a pravý bok. 46
Obr.11. 4 Přední panel. 46
Obr.11. 5 Horní kryt. 47
Obr.11. 6 Hliníkový úhelník. 47
Obr.11. 7 Zapojení nabíječky k akumulátoru. 48
Obr.11. 8 Úvodní zobrazení po zapnutí nabíječky. 48
Obr.11. 9 Volba kapacity akumulátoru. 49
Obr.11. 10 Ukončení nabíjení akumulátoru. 49
Obr.11. 11 Pohled 1. 50
Obr.11. 12 Pohled 2. 50

SEZNAM TABULEK

Tab.4. 1 Srovnání dosažitelných výkonů u jednotlivých typů obvodů. 10
Tab.5. 1 Tabulka parametrů feritového jádra. 12
Tab.5. 2 Tabulka parametrů výstupních usměrňovacích a filtračních obvodů 14
Tab.5. 3 Tabulka parametrů jádra Amidon T80-26. 14
Tab.6. 1 Seznam součástek základní desky zdroje. 19
Tab.6. 2 Tabulka předdefinovaných akumulátorů. 23
Tab.6. 3 Tabulka zapojení konektorů k MCU. 27
Tab.6. 4 Seznam součástek řízení a ovládání zdroje. 27
Tab.6. 5 Tabulka součástek obvodu s relé. 29
Tab.6. 6 Tabulka rozměrů konstrukčních dílů šasi. 31
Tab.6. 7 Suma všech nákladu na realizaci zařízení. 31
Tab.7. 1 Tabulka použitých přístrojů. 35
Tab.11. 1 Výstupní tabulka návrhového programu PIExpert 7 44

ÚVOD

Velké množství přístrojů a zařízení, s kterými se můžeme v praxi setkat, využívá olověné akumulátory jako zdroje elektrické energie. Jsou to např. svítilny, záložní zdroje UPS, zdroje v přístrojích pro lékařské účely nebo akumulátory pro startování automobilů a motocyklů. Cena těchto akumulátorů je velmi často vyšší než cena samotného zařízení, z finančního hlediska je výhodné pečovat o jejich stav, a tak výrazně prodloužit jejich životnost správným nabíjením. V této bakalářské práci jsou uvedeny nabíjecí metody akumulátorů podle třech základních nabíjecích charakteristik. Velmi důležitým parametrem akumulátoru je jeho celková kapacita, která určuje nabíjecí proud, kterým se bude akumulátor nabíjet.

Prodávané nabíječe jsou velmi často levné a jejich parametry často nesplňují požadavky pro moderní postupy nabíjení akumulátorů. Naopak kvalitní nabíječe bývají velmi často víceúčelové a umožňují nabíjení akumulátorů velkými nabíjecími proudy, ale jejich cena se pohybuje v řádu tisíců korun. Tyto nabíječe bývají velkých rozměrů a jsou zpravidla osazeny velkým a těžkým transformátorem.

Cílem projektu je navrhnout nabíječku se spínaným zdrojem, která je řízena jednočipovým mikroprocesorem. Návrh zdroje byl proveden v programu pro spínané zdroje, který známe pod názvem PIexpert. Přehled navržených parametrů zdroje je uveden v příloze této práce. Dle tohoto návrhu bylo zhotoveno schéma zapojení a DPS v programu Eagle. Po sestavení a oživení spínaného zdroje byly změřeny jeho základní parametry.

V této práci je uveden návrh ovládání a řízení nabíječky. Celá nabíječka je řízena jednočipovým mikroprocesorem C8051F320 od firmy Silicon Laboratories. Program byl odlaďován na vývojovém kytu pro tento mikroprocesor. Po odladění programu byla navržena vlastní DPS, na které je stabilizátor napětí 3.3V pro napájení mikroprocesoru, odporový dělič napětí pro AD převodník a piny mikroprocesoru byly vyvedeny na konektory. Nabíječka je ze strany uživatele ovládána pomocí start a stop tlačítka a rotačního mechanického snímače polohy. Dále nabíječka obsahuje 20x4 LCD displej, na tomto displeji se zobrazuje výběr kapacity pro nabíjený akumulátor, doba nabíjení akumulátoru a napětí na akumulátoru. Následoval návrh šasi pro zařízení a shrnutí celkových vynaložených nákladů na zařízení. Při výběru vhodného materiálu pro šasi byl brán zřetel na moderní provedení zařízení a dosažení co nejnižší hmotnosti zařízení.

V závěru této práce jsou shrnuty výsledky měření a jejich celkové zhodnocení. V příloze jsou fotografie s názorným zapojením nabíječky k akumulátoru.

1 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY

První olověný článek sestavil již v roce 1859 francouzský chemik Gaston Planté ze dvou olověných desek oddělených plátěným separátorem, které byly ponořeny do roztoku kyseliny sírové. Článek poskytoval elektrické napětí přibližně 2V. Po jeho vybití bylo článek možné znovu nabít. Tento princip olověného článku nebyl překonán a používá se i v současnosti. Výhodou olověného akumulátoru je, že poměr jeho ceny k jeho výkonu je přijatelný.

1.1 Složení akumulátoru

Akumulátor se skládá ze záporné a kladné elektrody, tyto elektrody jsou odděleny pomocí separátoru. Konstrukce těchto elektrod ovlivňuje kapacitu akumulátoru, velikost vybíjecího proudu. Velikost tohoto proudu ovlivňuje především životnost akumulátoru. Tyto elektrody jsou ponořeny v elektrolytu, kterým je koncentrovaná kyselina sírová.

1.1.1 Záporné elektrody

Elektrody jsou tvořeny aktivní porézní olověnou hmotou. Při vybíjení akumulátoru se uvolňují elektrony – viz chemická reakce.

$$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^- \tag{1.1}$$

1.1.2 Kladné elektrody

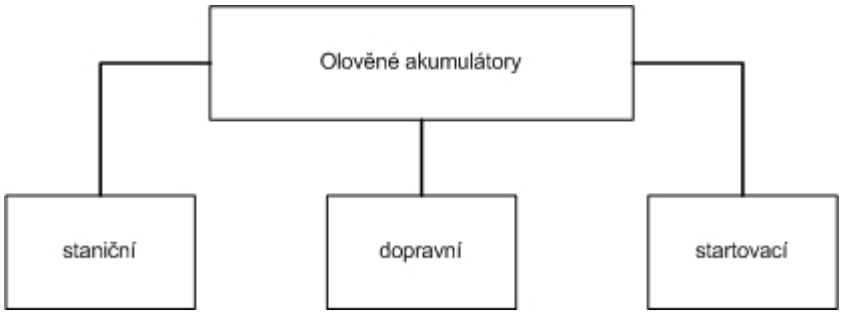
Jsou více namáhány chemickými reakcemi než elektrody záporné. Konstrukcí kladných elektrod je více druhů, např. velkopovrchové elektrody, mřížkové elektrody, trubkové elektrody. Všechny tyto elektrody jsou tvořeny oxidem olovičitým, a jejich konstrukce ovlivňuje především jejich životnost. Elektrony, které se při vybíjení akumulátorů uvolňují ze záporné elektrody, putují vnějším uzavřeným elektrickým obvodem směrem do kladné elektrody a současně se oxid olovičitý redukuje za vzniku síranu olovnatého a vody.

$$PbO_2 + 2H^+ + H_2SO_4 + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O \tag{1.2}$$

Komplexní reakce probíhající v olověném akumulátoru je popsána rovnicí 1.3. Rovnice znázorňuje chemickou reakci při vybíjení akumulátoru. Při nabíjení akumulátoru probíhá chemická reakce zcela opačně. Z uvedené rovnice je patrné, že se chemickou reakcí při vybíjení akumulátoru uvolňuje voda. Ve vybitém akumulátoru způsobuje především v zimním období uvolněná voda přemrzání elektrolytu a tím následně zkrácení životnosti akumulátoru.

$$PbO_2 + 2H_2SO_4 + 2Pb \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O \tag{1.3}$$

1.2 Rozdělení akumulátorů podle použití



Obr.1. 1 Rozdělení akumulátorů podle použití

1.2.1 Staniční akumulátory

Slouží jako zdroje elektrické energie pro napájení zařízení při přerušení dodávky elektrické energie z rozvodné sítě. Uplatňují se především, jako náhradní zdroje elektrické energie v nemocnicích, v metru, radiokomunikačních soustavách, v železniční dopravě, v divadlech, v kinech a v dalších aplikacích, kde by mohlo dojít k havárii, ekonomickým ztrátám a ohrožení lidského života.

Staniční akumulátory se vyrábějí ve velkém rozsahu kapacit řádově 1Ah až 10000Ah a životnost těchto akumulátorů se liší podle konstrukce, výrobci udávají rozmezí 4 až 20 let. [3]

1.2.2 Startovací akumulátory

Jsou konstruovány pro vysoké proudové zatížení především pro spuštění spalovacích motorů vozidel, letadel a k napájení jejich mnohačetného elektrického zařízení. Tyto akumulátory jsou schopny dodávat špičkový proud, až stovky ampér. Tyto startovací akumulátory je nepřípustné vybíjet na příliš nízkou hladinu napětí , neboť tímto vybíjením se značně opotřebovávají elektrody, což vede ke značné ztrátě kapacity akumulátoru a v extrémním případě i k jeho trvalému poškození. Před zimním obdobím a v jeho průběhu je třeba dbát zvýšené péče o startovací akumulátor tím, že častěji kontrolujeme hladinu elektrolytu v akumulátoru, jehož úbytek je způsoben elektrolýzou uvnitř akumulátoru. Proto je nutné akumulátor dolévat destilovanou vodou na úroveň

hladiny dané výrobcem akumulátoru. Toto se týká akumulátorů, které mají zátky k jednotlivým článkům akumulátoru. Stále častěji se setkáváme se startovacími akumulátory bez těchto zátek a potom se jedná o tzv. bezúdržbové akumulátory. U těchto akumulátorů se destilovaná voda nedolévá a jejich údržba se provádí pravidelným nabíjením akumulátoru. [3]

1.2.3 Dopravní (trakční) akumulátory

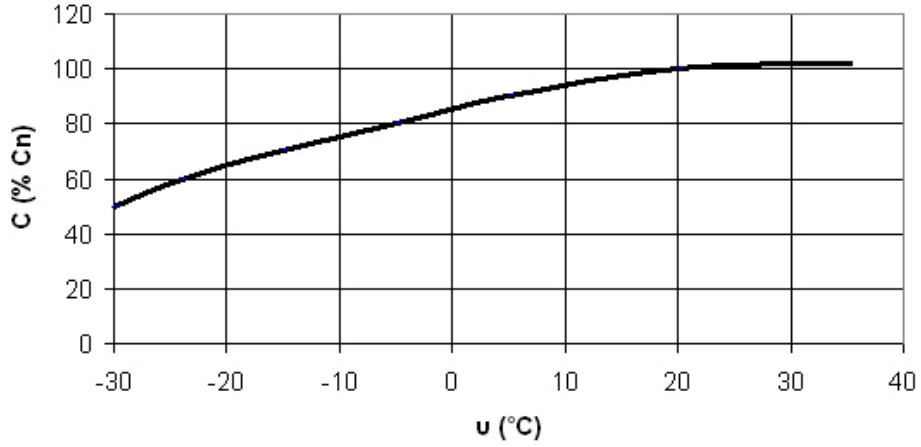
Tyto akumulátory jsou především navržené pro vybíjení na nízkou hladinu napětí a jejich opětovné nabití v náročných aplikacích, takže se používají jako zdroje elektrické energie pro elektromobily, jako pohonné zdroje invalidních vozíků a nebo také jako zdroje osvětlení pro vlakové soupravy. Konstrukce trakčních akumulátorů je zaměřena především na jejich dlouhou životnost. Konstrukce elektrod je navržena tak, že tyto akumulátory nejsou schopny dodávat tak velký proud jako startovací akumulátory, ale naopak jsou tyto elektrody silnější konstrukce než elektrody u startovacích akumulátorů. Trakční akumulátory mohou být také vybaveny speciálním zařízením, které při nabíjení akumulátoru promíchává elektrolyt za účelem jeho homogenizace. Tímto speciálním způsobem nabíjení se dají zkrátit nabíjecí časy až o 30%. Trakční akumulátory se vyrábějí až do kapacity 1500 Ah. [3]

1.3 Kapacita akumulátoru

Pro získání větší kapacity akumulátoru se kladné i záporné elektrody zapojují především paralelně. Kapacita jedné kladné elektrody (například 20Ah) vynásobená počtem elektrod udává celkovou kapacitu akumulátoru. Z důvodu omezeného počtu elektrod v akumulátoru se používá k docílení vyšší celkové kapacity akumulátoru i větší kapacita jednotlivých elektrod. Celková kapacita akumulátoru je udávána v ampérhodinách (Ah). Využitelná celková kapacita akumulátoru je však menší než teoretická a pohybuje se v rozmezí od 1 do 10 000Ah dle použití akumulátoru. Při nízkých teplotách kapacita akumulátoru klesá přibližně o 1% na 1˚C (viz. obr. 1.2). Kapacitu akumulátoru lze vypočítat z rovnice 1.4.

$$Cn = \frac{U_p \cdot t}{R} \text{ [Ah, V, s, } \Omega^{-1}\text{]} \tag{1.4}$$

Kde U_p je průměrné svorkové napětí na akumulátoru, t je doba vybíjení s R je odpor zátěže.



Obr.1. 2 Závislost kapacity akumulátoru na teplotě při vybíjení.

Z grafu je patrné, že kapacita akamulátoru je velmi závislá na teplotě. Při teplotách v rozmezí 0˚ až -30˚ kapacita akumulátoru klesá až na 50% jmenovité hodnoty.

1.4 Nabíjení

Nabíjení akumulátoru obnovuje jejich elektrický náboj. Není-li uveden výrobcem nabíjecí proud akumulátoru, akumulátor nabíjíme zpravidla proudem jedné desetiny celkové kapacity akumulátoru (0,1*Cn) (A) až do vzestupu na plynovací napětí článku, což je 2,4V/čl. Pokračuje-li nabíjení akumulátorů se zaplavenými elektrodami na vyšší napětí, snižuje se nabíjecí proud na 0,05Cn (A) a nabíjení se ukončí po dosažení znaků plného nabíjení, aby nedošlo k přebití akumulátor, čímž se akumulátor poškozuje.

Konstrukce novějších akumulátorů je uzpůsobena do tzv. bezúdržbových akumulátorů, které mají větší stabilitu, menší samovybíjecí proudy a uživatel nemusí kontrolovat hladinu elektrolytu a dolévat ji destilovanou vodou, neboť konstrukce těchto akumulátorů to ani nedovoluje a tyto akumulátory jsou zcela uzavřeny a nemají zátky jednotlivých článků. I přes tyto vlastnosti je na místě tyto akumulátory v zimním období a v jeho průběhu pravidelně nabíjet.

Při nabíjení akumulátoru se uvolňují výbušné plyny (především vodík), a proto musí být umožněn volný únik výbušných plynů z akumulátoru, což zajistíme otevřením zátek jednotlivých článků akumulátoru.

Akumulátory jsou nabíjeny podle specifických nabíjecích charakteristik, a ty můžeme rozdělit do tří skupin. Nabíjení podle charakteristik U, I a W. Pro optimální nabíjení akumulátoru se charakteristiky velmi často kombinují. Samočinné vypínaní se označuje přídavným indexem $_a$ a samočinné přepínání mezi charakteristikami se označuje přídavným indexem $_w$ .Označení I_oW_a znamená, že nabíječ bude nejdříve nabíjet charakteristikou I potom se automaticky přepne na charakteristiku W a nakonec se automaticky vypne. [3][4]

1.4.1 Nabíjení podle charakteristiky U

Tato charakteristika je označována jako nabíjení akumulátorů s konstantním napětím. Nabíjení akumulátoru je založeno na tom, že akumulátor je nabíjen zpočátku vysokým počátečním proudem 0,6 až 1,2*Cn (A), který rychle klesá a ustálí se na konstantním napětí. Velikost konstantního napětí se nastaví na plynovací napětí nabíjeného akumulátoru. Tento proud je tak malý, že nepoškozuje kladnou elektrodu akumulátoru, jako tomu je při nabíjení charakteristikou konstantním proudem (I). Konečný nabíjecí proud je zpravidla menší než 0,002*Cn (A). Tento způsob nabíjení umožňuje nabíjet více akumulátorů stejného druhu paralelně zapojených.

Nevýhodou nabíjení podle charakteristiky konstantního napětí (U) je, že nabíječka musí na počátku nabíjecího cyklu dodávat velký počáteční proud a ke konci nabíjení je proud stokrát až tisíckrát menší než na začátku nabíjecího cyklu, což vede k neefektivnímu využití výkonu nabíječek. [3][4]

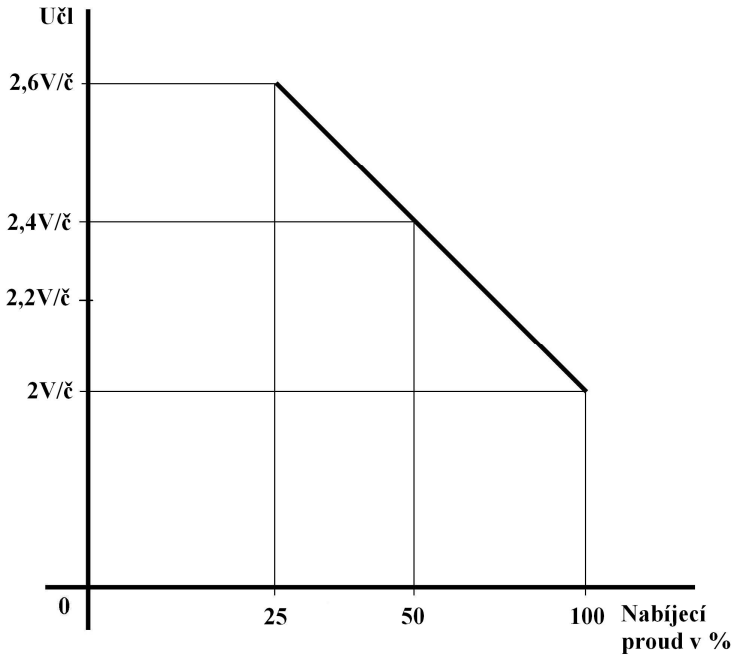
1.4.2 Nabíjení podle charakteristiky I

Tato charakteristika je označována nabíjení akumulátorů s konstantním proudem. Nabíjení akumulátoru je založeno na tom, že akumulátor je nabíjen od počátku do konce nabíjecího cyklu konstantním proudem. Nabíjecí proud se volí 0,1-0,3Q (A). Výhodou této nabíjecí charakteristiky je lineární vzestup kapacity v závislosti na době nabíjení akumulátoru. Dodaný náboj (Ah) můžeme snadno ověřit prostým vynásobením nabíjecího proudu (A) a doby nabíjení akumulátoru (h).

Nevýhodou této nabíjecí charakteristiky je především přetěžování elektrod, což je způsobeno nárůstem napětí a zvýšeného plynování, což zvyšuje elektrolýzu akumulátoru, čímž dochází potažmo ke korozi kladné elektrody. Tomuto negativnímu jevu, který vzniká na kladné elektrodě, se dá předejít především dvoustupňovým nabíjením. Lze použít nabíjecí charakteristiku I $_o$I. Začátek nabíjecího cyklu začíná nabíjením vysokým proudem I_1= 0,1-0,3Q (A) až do vzestupu napětí na 2,4V/čl, a poté velmi malým proudem I_2=0,05Q (A) až do ukončení nabíjecího cyklu.[3][4]

1.4.3 Nabíjení podle charakteristiky W

Nabíjecí charakteristika typu W je založena na tom, že se zvětšujícím napětím na článku se úměrně zmenšuje nabíjecí proud akumulátoru (viz. obr.1. 3). Nabíjení akumulátoru podle charakteristiky W je především vhodné pro rychlé nabíjení trakčních a startovacích akumulátorů. [3][4]



Obr.1. 3 Závislost napětí článku na nabíjecím proudu (převzato z [4]).

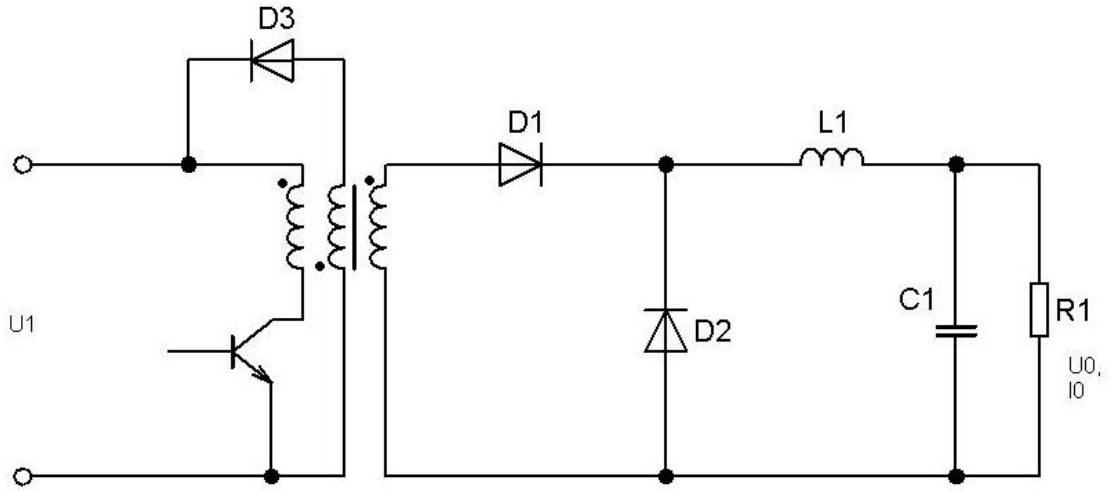
1.4.4 Známky plného nabití

Akumulátor se považuje za plně nabitý, jestliže všechny články intenzivně plynují a ve všech článcích má elektrolyt stejnou hustotu. Při plném nabití by článek měl mít napětí 2,50 až 2,75V. Nabitý akumulátor má hustotu elektrolytu 1,28 g/cm^3.

2 MĚNIČE

2.1 Propustné měniče

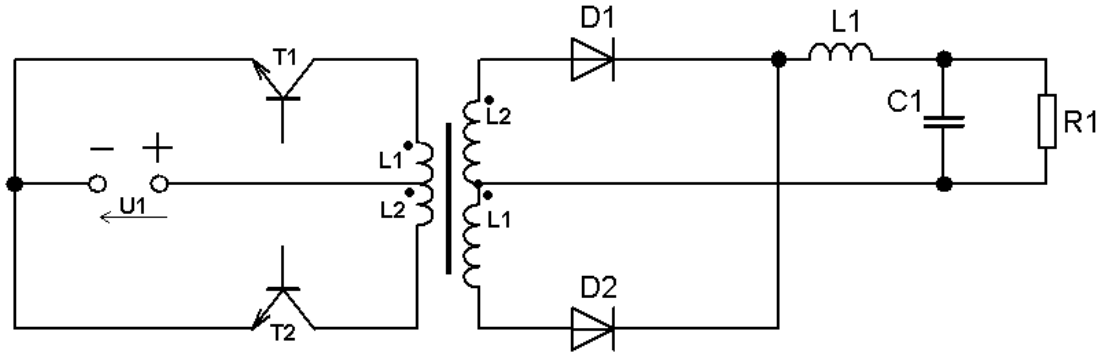
Propustné měniče mají pevný kmitočet, mění se pouze střída spínaní. Pro galvanické oddělení zdroje od výstupu se používá transformátor. Magnetovací proud se uzavírá přes rekuperační vinutí a diodu D3 do zdroje. Tento proud nabíjí filtrační kondenzátory zdroje. Při sepnutém spínači prochází proud ze zdroje primárním vinutím a transformuje se do sekundárního vinutí. Sekundární proud prochází usměrňovací diodou D1 a vinutím tlumivky L_0 do zátěže. Primárním vinutím transformátoru procházejí dvě složky proudů. Magnetovací proud a proud transformovaný. Magnetovací proud vytváří magnetické pole v jádru transformátoru a to se zahřívá. Po dobu sepnutí tranzistoru hodnota magnetovacího proudu lineárně roste. Při rozepnutém spínači se sekundární obvod uzavírá přes diodu D2 a odčerpává energii z tlumivky, také magnetovací proud klesá až na nulu z hodnoty, kterou před tím dosáhl. Primární i rekuperační vinutí mají stejný počet závitů, někdy se vinou i bifilárně, aby se zabránilo špičkám napětí na vinutí. [5]



Obr.2. 1 Zapojení propustného měniče s akumulační tlumivkou.

2.2 Dvojčinné měniče

Tyto měniče obsahují transformátor, který je složen ze dvou impulzních transformátorů. Každý z těchto transformátorů může mít svoje primární i sekundární vinutí nebo pro oba společné. Měniče s dvojčinnými transformátory dosahují nejvyšších výkonů, kmitočet však nepřesahuje desítky kHz. [5]



Obr.2. 2 Zapojení dvojčinného měniče.

3 SPÍNANÉ ZDROJE

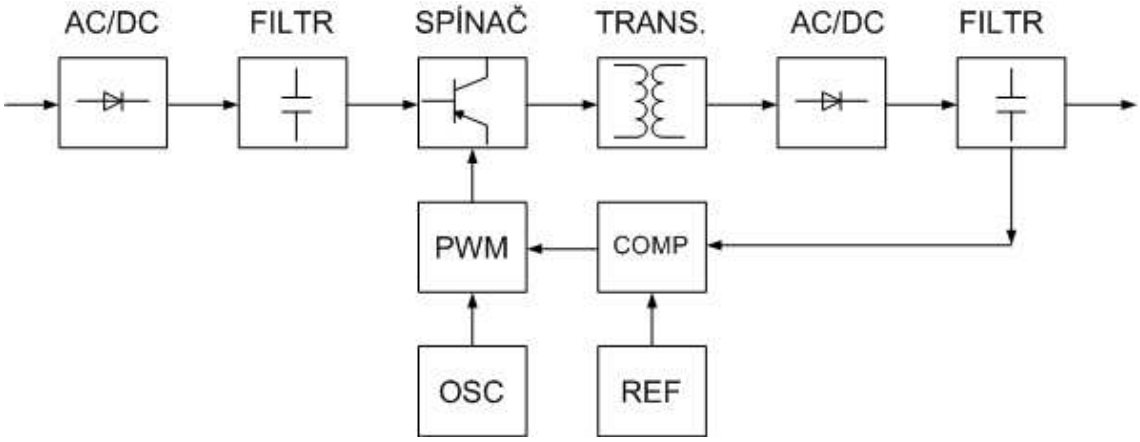
3.1 Obecně

V poslední době roste popularita spínaných zdrojů oproti zdrojům lineárním. Umožňují konstrukci zařízení s velkou účinností, což vede ke značně komplikovaným návrhům zdrojů.

Spínaný zdroj se skládá z několika základních částí viz. Obr.3.1 Obsahuje usměrňovač, vstupní filtr, který slouží k vyhlazení zbytkového zvlnění. Před transformátorem je spínací tranzistor, který je řízen pulzně šířkovou modulací. Zpětná vazba snímá velikost výstupního napětí a pomocí optočlenu řídí střídu spínaní tranzistoru. Za transformátorem následuje usměrňovač a výstupní filtr.

Výhodou spínaných zdrojů je jejich velikost, především transformátoru. Dále jejich hmotnost a vyšší účinnost než zdroje lineární.

Nevýhodou spínaného zdroje jsou rušivé signály, které vznikají při spínání výkonových tranzistorů. Jejich konstrukce se musí přizpůsobit požadavkům EMC.



Obr.3. 1 Blokové schéma spínaného zdroje.

4 OBVODY TOPSWITCH-GX

Obvody řady TOP242-250. Významnou odlišností je zvýšený výkonový rozsah zdrojů, které lze s těmito obvody konstruovat a který dosahuje až 290W. Příkon obvodu v neaktivním stavu, kdy při vstupním střídavém napětí 230V spotřebovávají pouze 160mW příkonu. Pracují standardně na kmitočtu 132kHz nebo na půleném 66kHz. Možný rozsah výstupních výkonů jednotlivých typů obvodů této řady je pro provedení v uzavřeném prostoru a v otevřeném dán Tab.4.1.

	230 [V] ±15 [%]		(85-265) [V]	
Chlazení obvodů	V uzavřeném prostoru	Volně	V uzavřeném prostoru	volně
TOP242P nebo G	9W	15W	6,5W	10W
TOP242Y	10W	22W	7W	14W
TOP243P nebo G	13W	25W	9W	15W
TOP243Y	20W	45W	15W	30W
TOP244P nebo G	16W	30W	11W	20W
TOP244Y	30W	65W	20W	45W
TOP245Y	40W	85W	26W	60W
TOP246Y	60W	125W	40W	90W
TOP247Y	85W	165W	55W	125W
TOP248Y	105W	205W	70W	155W
TOP249Y	120W	250W	80W	180W
TOP 250Y	135W	290W	90W	210W

Tab.4. 1 Srovnání dosažitelných výkonů u jednotlivých typů obvodů.

4.1 Popis činnosti obvodů

Obvody TOPSwitch – GX jsou určeny pro spínané zdroje s proměnou střídou spínání, kde hodnota této střídy je ovládána velikostí proudu. Čím větší výstupní proud odebíráme, tím klesá výstupní napětí. Snižuje se proud vstupní diodou optočlenu a tím roste střída spínání. Když není na výstupu připojeno žádné zařízení, tak optočlenem neprotéká žádný proud, tudíž je na spínacím tranzistoru maximální střída a ta uvede spínací tranzistor do režimu Stand-By. Tento režim chrání tranzistor, kdyby tomu tak nebylo, tak by tranzistor spínal dál a energie v transformátoru by se neměla kam odvádět a došlo by ke zničení zařízení.

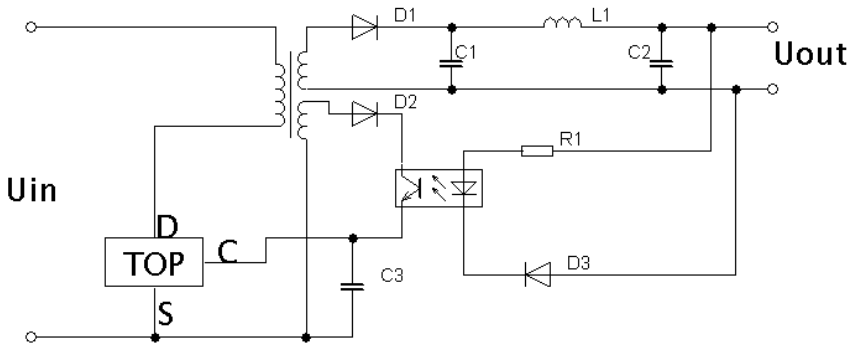
Vlastnosti obvodu:

1. plně integrovaný měkký start obvodů po dobu 10 ms omezuje špičkové proudy a dramaticky snižuje proudové překmity u většiny aplikací,
2. maximální hodnota střídy spínání DC_{MAX}=78% dovoluje volit menší kapacitu vstupního nabíjecího kondenzátoru, snížit vstupní napětí nebo zvýšit výstupní výkon,
3. snížení kmitočtu při minimálním odběru snižuje přepínající ztráty a udržují křížovou regulaci u vícenásobných výstupů na přijatelné úrovni,
4. vyšší spínací kmitočet 132kHz snižuje velikost transformátoru,
5. hystereze tepelného vypínání zajišťuje automatickou obnovu činnosti po odeznění tepelného přetížení, velká hodnota hystereze chrání před přehřátím celý obvod,
6. menší tolerance parametrů a rozptyl teplot má příznivý vliv na stálost spínacího kmitočtu, proudového omezení a zisku zpětnovazební smyčky.

Vývod L (LINE-SENSE) je obvykle použit pro snímání hodnoty vstupního stejnosměrného napětí na filtračním kondenzátoru síťového usměrňovače. Spojením odporu a vývodu L, tak chráníme obvod před možným přepětím a podpětím. Jestliže nastane přepětí obvod se uvede do stavu Stand-By.

Vývod F (FREQUENCY) umožňuje u obvodů v pouzdrech P nastavit externím způsobem hodnotu interního spínacího kmitočtu.

Obvod pracuje na kmitočtu spínaní 132kHz, tohoto kmitočtu je docíleno spojením vývodu L a vývodu S (SOURCE). Poloviční kmitočet spínání 66kHz nastavujeme přivedením obvodu TOPSwitch-GX do stavu Stand-By a zkratujeme vývody F a vývod C_0 (CONTROL). [2]

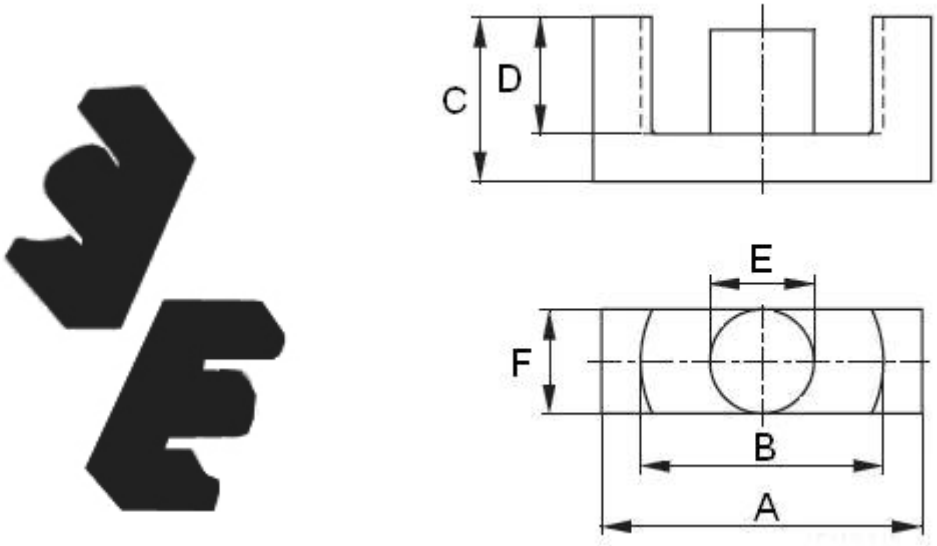


Obr.4. 1 Základní zapojení zpětnovazebního měniče.

5 NÁVRH SPÍNANÉHO ZDROJE

5.1 Impulzní transformátor

Při výběru transformátoru je nutné dbát na to, aby byl transformátor schopný přenést požadovaný výkon a aby bylo na kostřičce transformátoru dostatek místa pro primární a sekundární vinutí. Pro naši aplikaci bylo vybráno jádro typu ETD 39.



Obr.5. 1 Tvar feritového jádra impulsního transformátoru a jeho rozměry (převzato z [16]).

ETD 39						
Rozměr	A	B	C	D	E	F
Jednotka	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Hodnota	38.9	29.3	20	14.2	12.8	12.8
Parametr	Ae	Le	Ve	Al	hmotnost	
Jednotka	[mm^2]	[mm]	[mm^3]	[nH/N^2]	[g]	
hodnota	125	92.2	11500	2850	30	

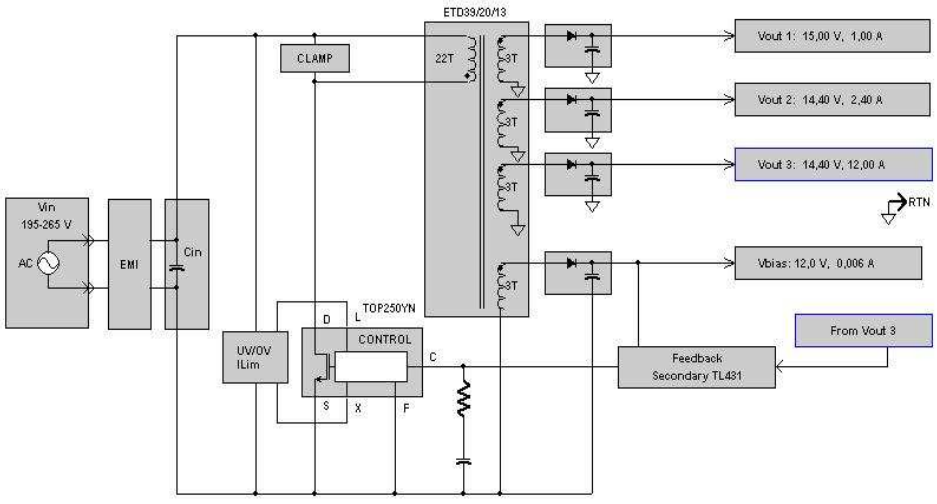
Tab.5. 1 Tabulka parametrů feritového jádra.

Po výběru jádra transformátoru byla vybrána vhodná kostřička. Jako nejvhodnější se jeví typ **Lj ETD3913hp 16p 1s CF** od téhož výrobce. Podle výpočtů programu bude zaplněna ze 77%. Tato kostřička je axiálního provedení a má 16 vývodů pro osazení do DPS, viz obr.

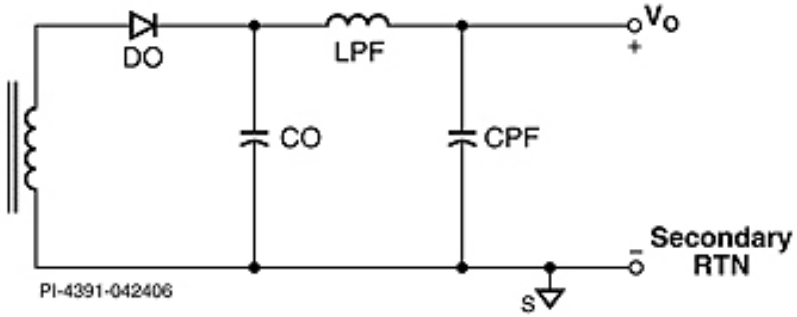
Obr.5. 2 Tvar kostřičky pro jádro impulzního transformátoru (převzato z [16]).

5.2 Počítačový návrh zdroje

Zdroj byl navrhnut podle zadání bakalářské práce. Nabíječka musí nabíjet akumulátory o kapacitě 120 Ah, bude nabíjet akumulátory proudem 0.1*Cn (A), tzn že max. proud bude 12A. Zdroj bude teoreticky schopen dodávat max. proud 14,4A a maximální napětí 16,5V. Návrh byl proveden v programu PIexpert. Program slouží k návrh spínaných zdrojů s využitím řídících obvodů TOPSwitch. Program také vytvoří předběžné blokové schéma zdroje. Ve zdroji je použit obvod TOP250YN řady GX v pouzdru TO-220, v tomto pouzdře má obvod maximální výkon 290W.



Obr.5. 3 Předběžné blokové schéma zdroje.



Obr.5. 4 Schéma výstupního filtračního obvodu.

Vinutí		Doporučené hodnoty				Zvolené hodnoty			
Napětí	Proud	D0	C0	Cpf	Lpf	D0	C0	Cpf	Lpf
[V]	[A]	[-]	[uF]	[uF]	[uH]	[-]	[uF]	[uF]	[uH]
14,4	14,4	-	4x 1800	100-680	2,2-10	MBR41H100CT	3x 2200	680	10
15	1	SB180	1x 330	100-680	2,2-10	BYV 26	330	680	10

Tab.5. 2 Tabulka parametrů výstupních usměrňovacích a filtračních obvodů

5.3 Návrh cívky výstupních LC filtrů

Pro výstupní cívky LC filtrů byla použita železoprachová jádra Amidon. Pro snížení nákladů samotného zařízení a snížení rozměrů DPS bylo použito jedno jádro typu T80-26. Samotné jádro má natolik velkou rezervu, že můžeme obě výstupní cívky navinout na jedno jádro. Požadovaná indukčnost je 2x 10 uH.

T80-26							
Parametr	Vnější průměr	Vnitřní průměr	Výška	le	Ae	Ve	Al
Jednotka	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm^2]	[mm^3]	[µH/100z]
Hodnota	20,2	12,6	6,4	51,5	24,2	1246	450

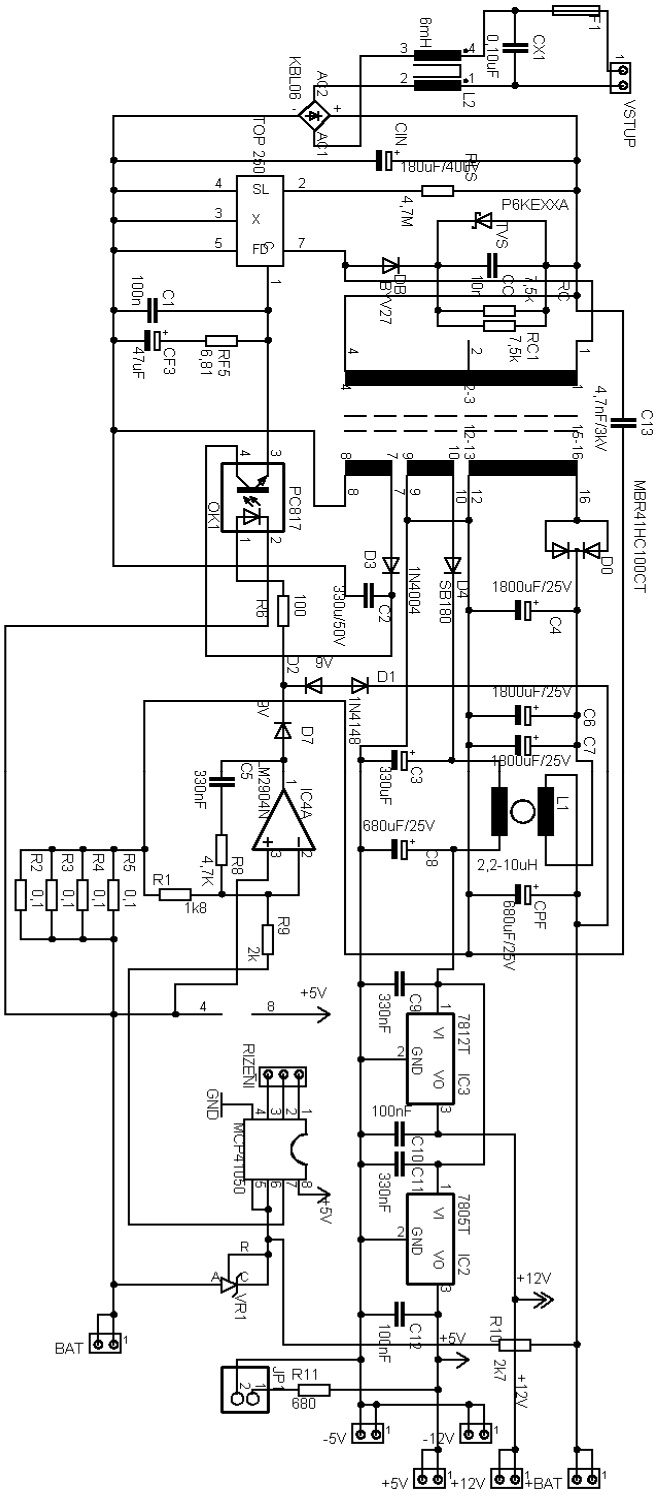
Tab.5. 3 Tabulka parametrů jádra Amidon T80-26.

Výpočet počtu závitů cívky:

$$n = 100 \cdot \sqrt{\frac{L}{Al}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{10}{450}} = \underline{\underline{15z}} \qquad (5.1)$$

Kde *Al* představuje konstanta v µH na 100 závitů, *L* je indukčnost v µH.

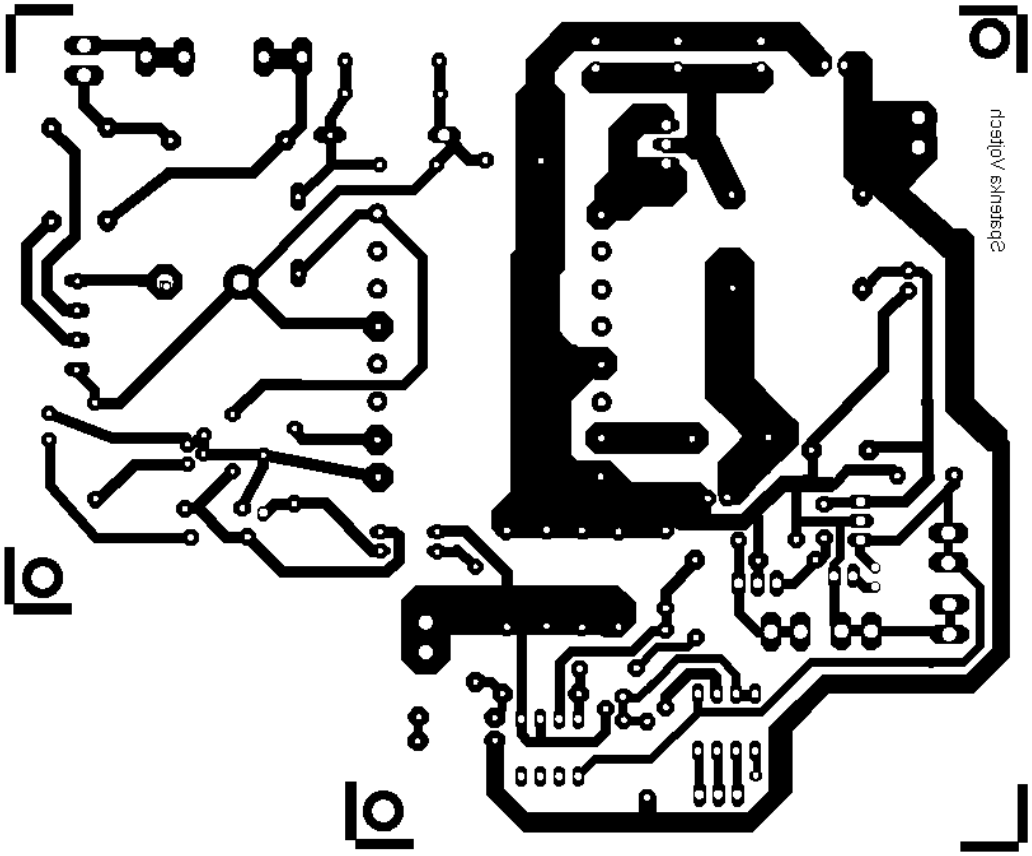
6 REALIZACE ZAŘÍZENÍ



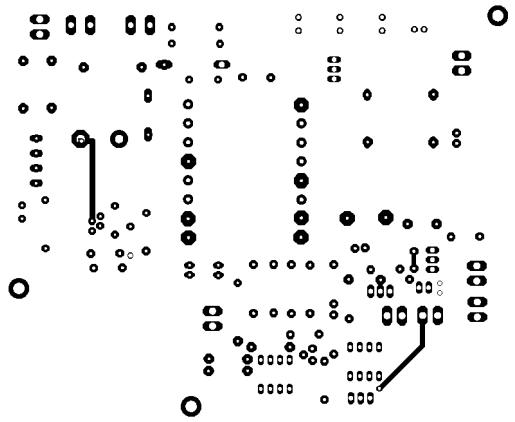
Obr.6. 1 Schéma zapojení zdroje.

6.1 Návrh plošného spoje zdroje

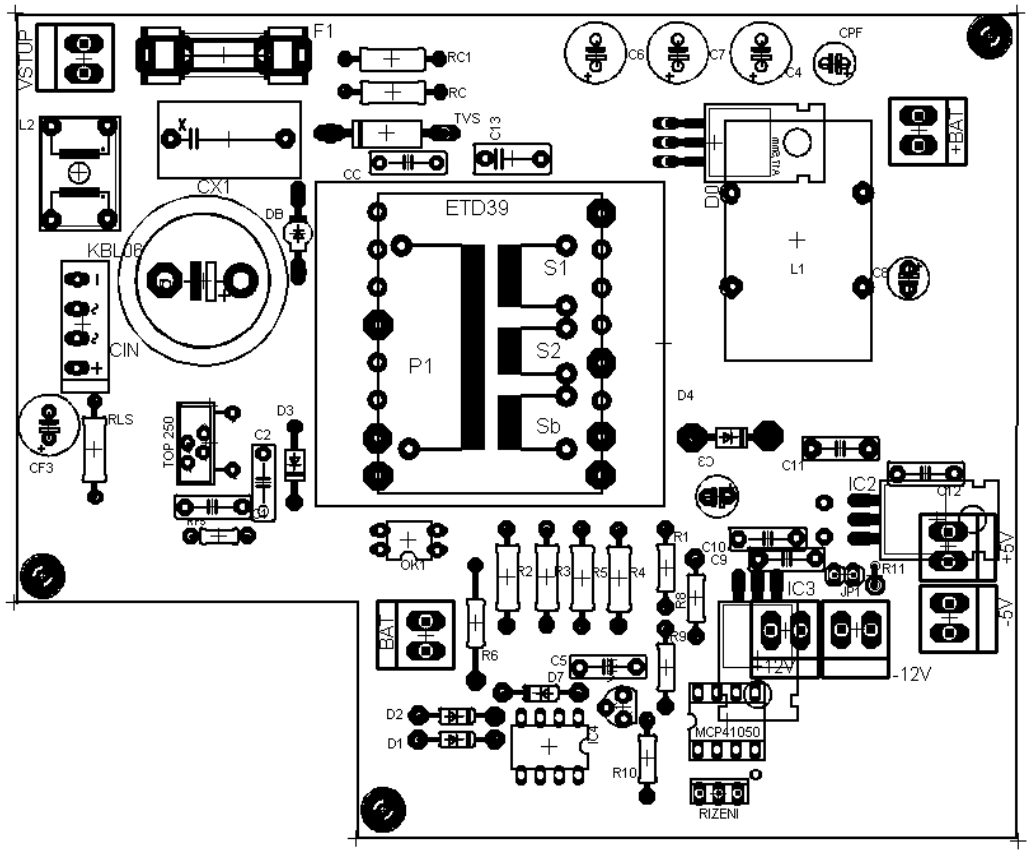
DPS zdroje byla navržena jako jednostranná s dvěma drátovými propojkami, základní deska zdroje má rozměr 110x140mm .



Obr.6. 2 DPS zdroje ze strany Botton, 1:1.



Obr.6. 3 DPS zdroje ze strany TOP, 1:2.



Obr.6. 4 Rozmístění součástek na DPS zdroje, 1:1.

6.1.1 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
+5V, -5V		1x3MTA	Konektor
+12V, -12V		1x3MTA	Konektor
BAT		1x2MTA	Konektor
-BAT, +BAT		1x3MTA	Konektor
C1	100n	C075-032X103	Keramický kondenzátor
C2, C3	330u/25V	CPOL-EUE2.5-6	Elektrolytický kondenzátor
C4, C5, C6, C7	1800u/25V	CPOL-EUE3.5-8	Elektrolytický kondenzátor
C8	680u/25V	CPOL-EUE2.5-6	Elektrolytický kondenzátor
C9, C11	330n	C075-032X103	Keramický kondenzátor
C10, C12	100n	C075-032X103	Keramický kondenzátor
C13	4,7n/3kV	C075-032X103	Keramický kondenzátor
CC	10n	C075-032X103	Keramický kondenzátor
CF3	47u/35V	CPOL-EUE3.5-8	Elektrolytický kondenzátor
CIN	180u/400V	CPOL-EUE10-22.5	Elektrolytický kondenzátor
CPF	680u/25V	CPOL-EUE2.5-6	Elektrolytický kondenzátor
CX1	0,1u	XC15B10	Keramický kondenzátor
D0	MBR41HC100CT	TO220AB	Dioda
D1,D2	1N4148	DO35-10	Dioda
D3	1N4004	DO41-10	Dioda
D4	SB180	DO41-10	Dioda
D6	DZD23	P1Z12	Zenerová dioda
D7	1N4148	DO35-10	Dioda
DB	BYV27	SOD57-10	Dioda
F1	2A	FUSESHK20L	Pojistka
IC1	L2722M	DIL8	Operační zesilovač
IC2	7805T	TO220	Stabilizátor napětí
IC3	7812T	TO220	Stabilizátor napětí
KBL	3,5A/600V	FBP1,5	Grecův můstek
L1	6m	DFKH14	Cívka
L2	10u	T106-26	Cívka
MCP41050		DIL8	Digitální potenciometr
OK1	PC817	DIL04	Optočlen
R1	1k8	0411/15	Drátový rezistor
R2, R3, R4, R5	0,1	0309/12	Drátový rezistor
R6	100	0207/10	Drátový rezistor
R8	4k7	0207/10	Drátový rezistor
R9	2k	PT-10S	Drátový rezistor
R10	2k7	0207/10	Drátový rezistor
RC, RC1	7,5	0309/12	Drátový rezistor
RF1, RF5	6,8	0204/7	Drátový rezistor
RLS	4,7M	0309/12	Drátový rezistor

Řizení		10x03MTA	Konektor
TVS	P6KExxxA	P6KE220A	Transil
T1		ETD39	Transformátor
U1	TOP250YN	TO263-7C	Obvod TOPSWITCH
VR1	TL431	TO - 92	Napětový regulátor

Tab.6. 1 Seznam součástek základní desky zdroje.

6.1.2 Příprava a osazení plošných spojů

Nejprve musel být navinut impulsní transformátor a výstupní cívky LC filtrů. Impulzní transformátor je navinut dle návrhu na kostřičku Lj ETD3913hp 16p 1s CF. Při vinutí impulzního transformátoru musí být dodrženy bezpečnostní zásady, bezpečnostní okraje vinutí 1,5mm na každé straně vinutí. Mezi primárním a sekundárním vinutím je použita izolační páska. Do navinuté kostřičky je vloženo jádro, u kterého se musí nastavit indukčnost. Při neustálém měření indukčnosti primárního vinutí a vkládání papírových pásků mezi obě jádra, bylo docíleno požadované indukčnosti 135 µF. Transformátor je nutné impregnovat transformátorovým lakem, aby se zpevnila celá jeho konstrukce a nedocházelo ke změně parametrů. Impregnací transformátoru se zbavíme i jedné nepříjemné vlastnosti a to je „brum“ transformátoru. Dále byly dle návrhu navinuty výstupní LC cívky filtrů. LC cívky z důvodu ušetření místa na DPS a finančních prostředků byly navinuty na jedno toroidní jádro Amidon. Navinuté cívky na jádru, jsou též impregnovány transformátorovým lakem. Osazení plošného spoje proběhlo dle zásad-nejprve byly osazeny menší součástky (rezistory, diody, kondenzátory, piny..), jako poslední byl osazen impulzní transformátor a výstupní cívky LC filtrů. Výkonové součástky, které budou tepelně namáhány jsou vyzvednuty 5mm nad plošný spoj, aby se lépe chladily. Na řídící prvek a výstupní usměrňovací diodu D0, byly přidány hliníkové chladiče. Mezi pouzdra součástek a chladiči je přidána izolační páska a tepelně vodivá pasta. Nutnost těchto chladičů se je projeví až při vyšším výkonovém zatížení zdroje. Jelikož se jedná o zařízení, které nebude používáno jen v laboratořích, musí být odolné vůči otřesům, proto by bylo vhodné vyrobit DPS s prokovy. DPS je opatřena ze strany součástek ochranným lakem.

6.1.3 Oživení spínaného zdroje

Při oživování spínaného zdroje bylo nutné zdroj připojit na oddělovací transformátor z důvodu bezpečnosti. Po osazení všech součástek a kontrolou se schématem bylo ke zdroji připojeno vstupní napájení. Po připojení napájení se spustila nadproudová ochrana na řídícím prvku Topswitch. Po důkladné kontrole návrhu byly objeveny chyby v návrhu a to nedodržení zemnících bodů. Zemnící bod by měl být sveden co nejblíže k vývodům Topswitche. Dle tohoto zjištění byly chyby v návrhu opraveny, takže při další konstrukci zdroje podle návrhu by mělo být vše v pořádku. Zdroj byl zatížen zkušební zátěží a bylo dosaženo výkonu 145W, při kterém zdroj pracoval bez sebemenších problémů.

6.2 Návrh řízení zdroje

6.2.1 Mikrokontroler C8051F320

Jako řídící prvek byl vybrán mikrokontroler řady C8051F320 od firmy Silicon Laboratories.

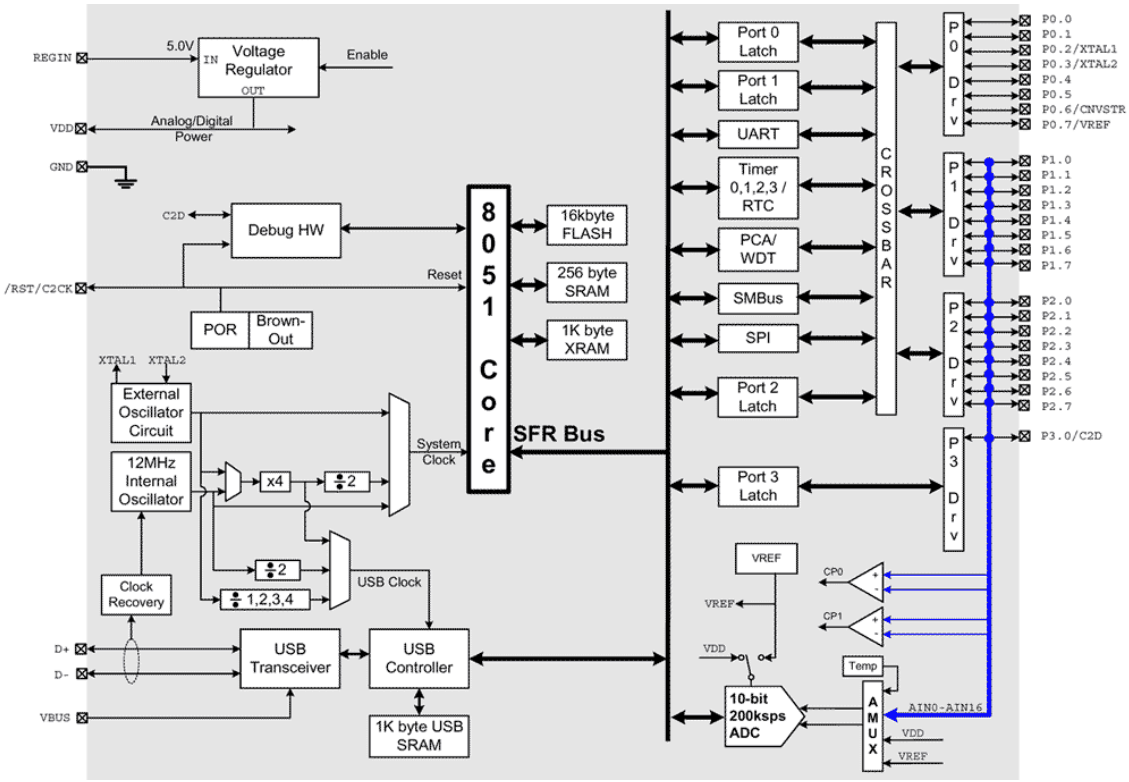
Základní vlastnosti:

- 10bitový 17kanálový A/D převodník s analogovým multiplexerem a rychlostí vzorkování až 200 000 vzorků za sekundu Mm
- teplotní senzor
- napěťový regulátor 5V/3V
- napěťová reference na čipu
- USB rozhraní; Vysoká (12 Mb/s) nebo Nízká rychlost (1.5 Mb/s), bez potřeby externího oscilátoru, 1kB USB Buffer
- velmi rychlé jádro 8051; až 25MIPS při 25 MHz, rozšířený řadič přerušení, architektura Pipelined Instruction,
- přesný programovatelný 12 MHz interní oscilátor s 4násobným násobičem hodinového kmitočtu
- 16kB interní FLASH
- celkem 2304B RAM (256 + 1k + 1k USB FIFO)
- 25 I/O portů podporujících 5V logiku
- 4 16bitové čítače/časovače
- 16bitové programovatelné Counter/Timer pole (PCA) s pěti zachycovacími/porovnávacími moduly s funkcí Watchdog
- integrované SMBus / I^2C, Enhanced UART a Enhanced SPI
- rozsah provozních teplot : -40°C až +85°C

Jádro CIP-51 však také nabízí lepší výkon, až 70% instrukcí se provádí v jednom nebo dvou hodinových cyklech. Má celkem 109 instrukcí a s maximálním hodinovým taktem 25MHz dosahuje až 25MIPS. [15]

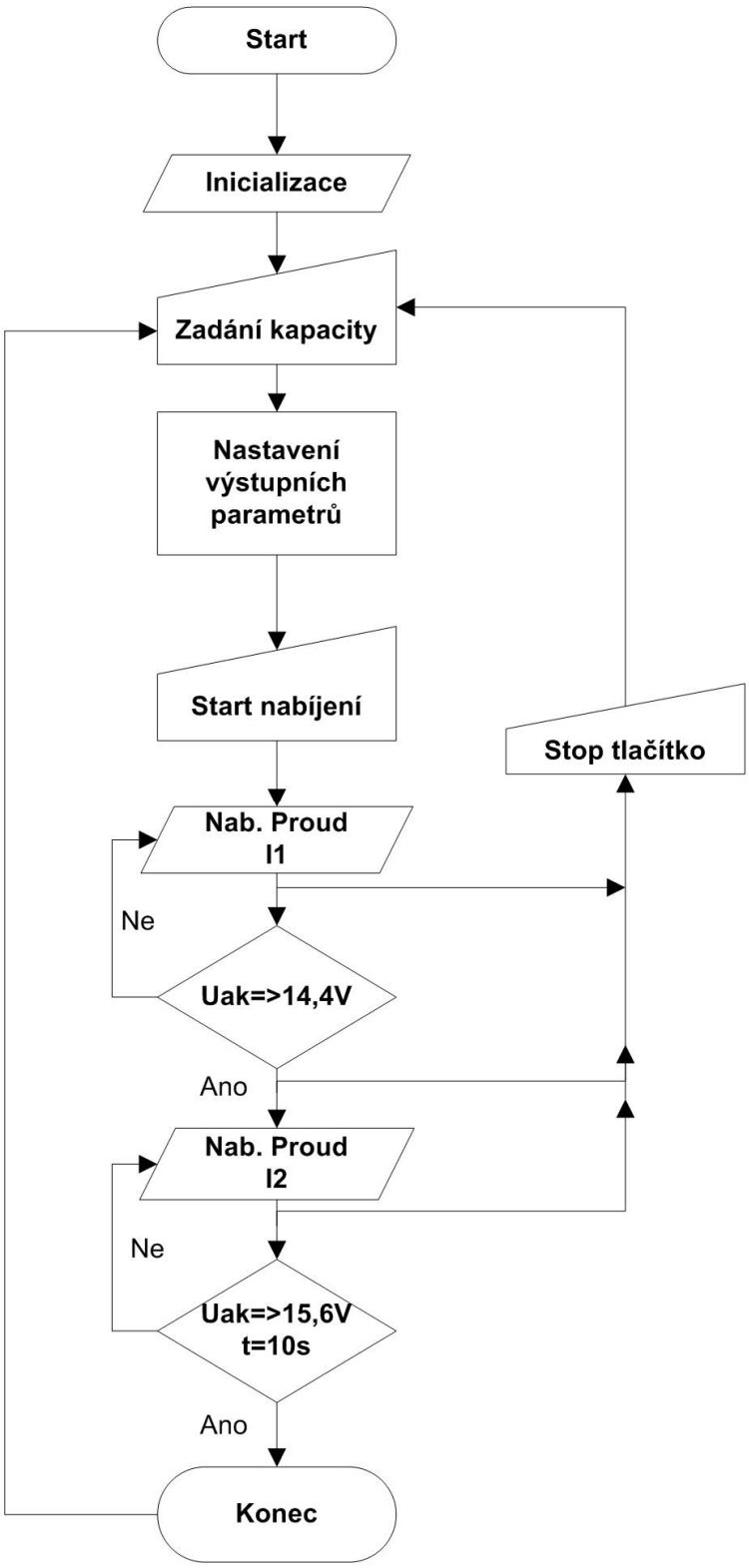
Mikroprocesor je určen pro napájecí napětí v rozmezí 2,7-3,6V avšak I/O brány podporují 5V logiku a obvody tak lze snadno použít i ve stávajících zařízeních. Obvod C8051F320 je dodáván ve 32pinových LQFP nebo 28 pinových MLP pouzdrech. [15]

Díky napěťovému regulátoru, Watchdog časovači a oscilátoru je procesor C8051F320/1 zcela soběstačný aproto nepotřebuje externí taktování.. Flash paměť je možné přeprogramovat přímo v aplikaci a tím poskytuje spolehlivé uchovávání dat a také dovoluje snadný upgrade firmware. [15]



Obr.6. 5 Blokové zapojení mikroprocesoru C8051F320, převzato z [16].

6.2.2 Algoritmus programu



Obr.6. 6 Algoritmus programu.

6.2.3 Popis algoritmu

Inicializace: inicializuje se LCD, rozepne se relé, nastaví se porty, na digitálním potenciometru se nastaví maximální odpor (50kΩ).

Zadání kacity: pomocí kodéru se zadá kapacita akumulátoru, dle předdefinovaných kapacit.

Nastavení výstupních parametrů: podle zadané kapacity akumulátoru se nastaví hodnota na digitálním potenciometru.

Start nabíjeni: při stisku tlačítka se sepne relé, povolí se ADC čitač a začne se nabíjet proudem I1. ADC sleduje napětí na svorkách akumulátoru, když je napětí rovno napětí 14,4V ,změní se hodnota na digitálním potenciometru, a tím se změní proud nabíjení na proud I2. Pokud se hodnota 15,6 V ustálí a neklesne po dobu 10s, nabíjení akumulátoru se ukončí a spustí se zvuková signalizace. Při ukončení nabíjení se rozepne relé, aby se akumulátor nevybíjel přes zdroj nabíječky.

Stop tlačítko: Stop tlačítko slouží k přerušení programu. Při jeho stisku se právě prováděná činost mikrokontroleru přeruší a vrátí se do hlavního menu na zadání kapacity.

Programování bylo prováděno ve výjovém prostředí Keil uVision 3 a testováno na vývojovém kitu s mikrokontrolerem C8051F320 od firmy Silicon Laboratories. Komunikace mezi počítačem a vývojovým kitem byla prováděna pomocí Seriál Adapter C2.

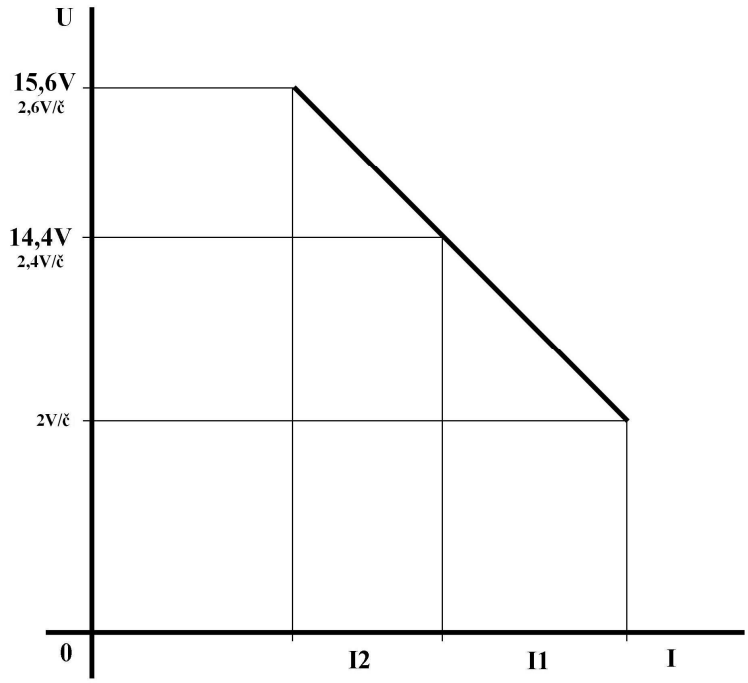
6.2.4 Ovládání nabíječky

Po zapnutí síťového tlačítka se na displeji zobrazí úvodní výpis. Po uplynutí 10s se objeví hlavní menu, které uživatele vyzývá k zadání kapacity akumulátoru. Kapacita akumulátoru se volí levým nebo pravým otáčením kodéru. Předem nadefinované kapacity akumulátorů byly vybrány podle výrobce olověných akumulátorů VARTA. Po vybrání kapacity akumulátoru se volba potvrdí stisknutím kodéru, rozsvítí se na předním panelu červená dioda, a tím se zahájí nabíjecí cyklus. Po startu nabíjení se na displeji zobrazuje napětí na akumulátoru a doba nabíjení. Pro přerušení nabíjecího cyklu je zde červené stop tlačítko. Při jeho stisknutí se právě prováděná činnost přeruší a zobrazí se na LCD displeji hlavní menu s výběrem kapacity akumulátoru.

Kapacita	Ah	40	44	45	50	55	60
akumulátoru	Ah	66	74	88	95	100	120

Tab.6. 2 Tabulka předdefinovaných akumulátorů.

6.2.5 Nabíjecí křivka



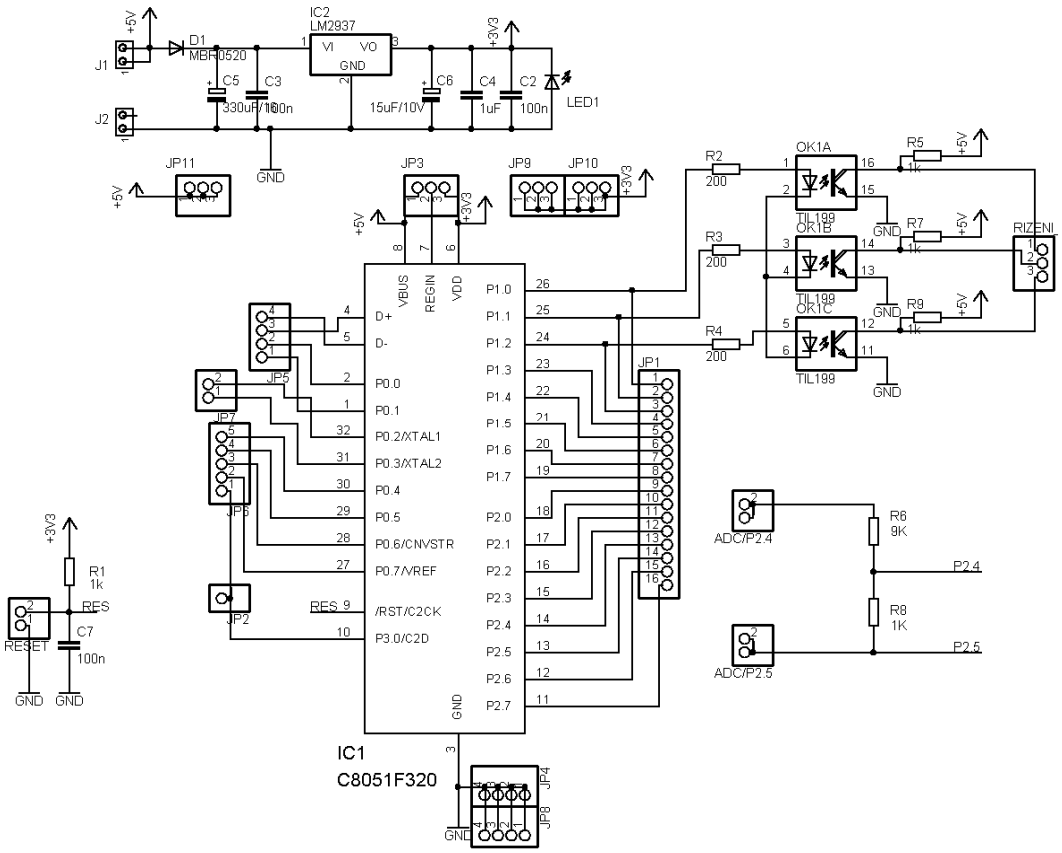
Obr.6. 7 Nabíjecí křivka.

Akumulátory jsou nabíjeny podle této nabíjecí křivky, kde je stanoven proud I1=0,10*Q [A] a prod I2= 0,06*Q [A]. Akumulátor se ze začátku nabíjení nabíjí proudem I1, až do napětí na akumulátoru 14,4V, po té je nabíjen proudem I2 až do úpného nabití, což je napětí 15,6V. Zda-li nabíječka dosáhne tohoto napětí záleží na hustotě elektrolytu a také na stáří akumulátoru.

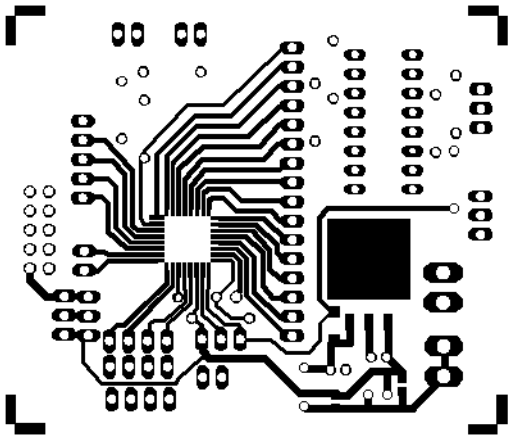
6.3 Realizace řízení a ovládání

Zdroj je řízen mikroprocesorem řady 8051F320. Ovládání je zrealizováno pomocí kodéru s tlačítkem, stop tlačítkem a čtyř řádkového LCD displeje. Mezi výstupní svorky zdroje byl umístěn obvod s relé, který umožňuje spojení svorek před nabíjením akumulátoru a jejich rozpojení po nabití akumulátoru, aby se akumulátor nevybíjel.

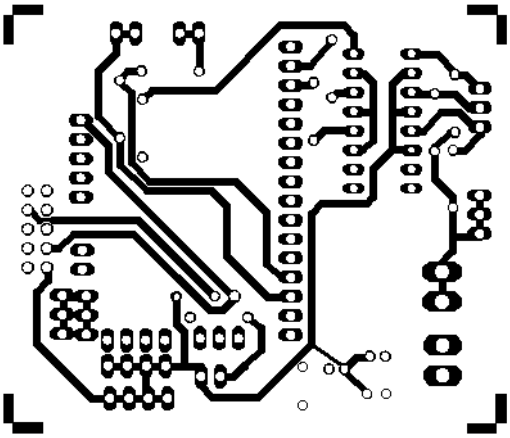
DPS řízení a ovládání zdroje byla navržena oboustranná, řízení a ovládání zdroje má rozměr 64x54mm. DPS s relé na rozepínání obvodu byla navržena jako jednostranná deska s rozměry 4x4 mm.



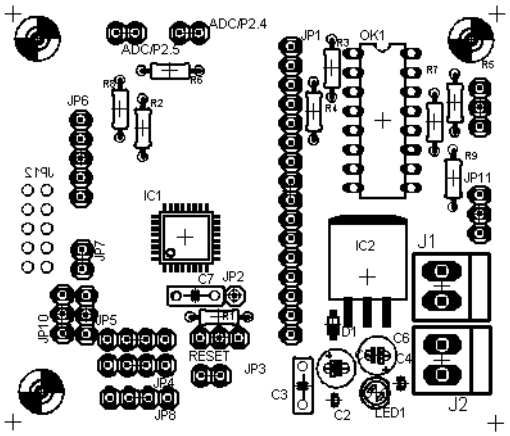
Obr.6. 8 Předběžné schéma zapojení řízení zdroje pomocí mikroprocesoru C8051F320.



Obr.6. 9 DPS řízení a ovládání zdroje ze strany TOP, 1:1.



Obr.6. 10 DPS řízení a ovládání zdroje ze strany Botton, 1:1.



Obr.6. 11 Rozmístění součástek na DPS řízení a ovládání zdroje.

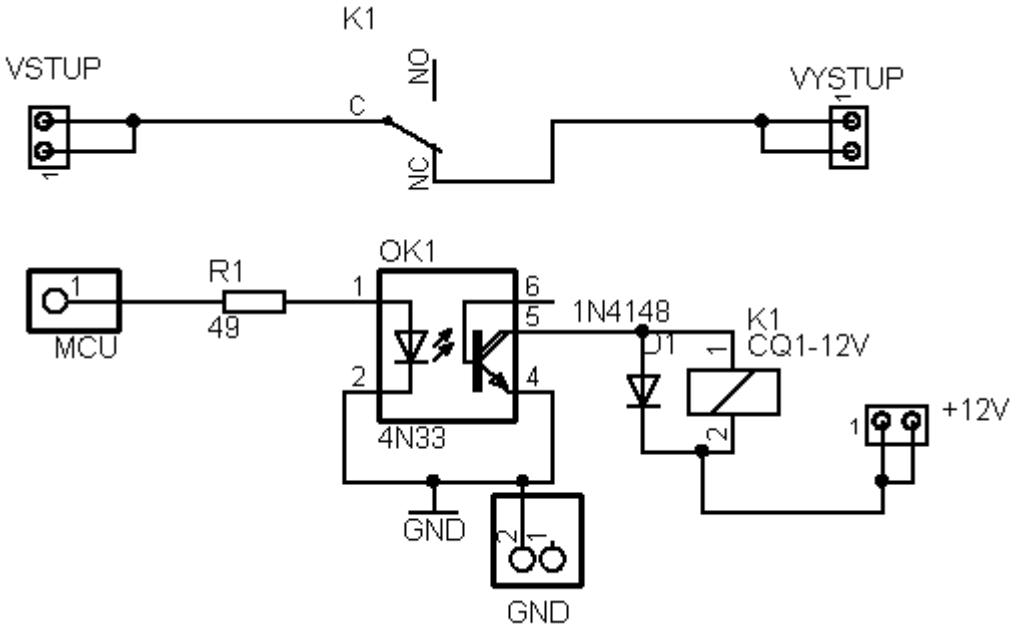
Lišta	Zapojení
J1	+5V
J2	-5V
JP1	P1.0 – P2.7
JP3	VDD,VBUS,REGIN
JP4	GND
JP5	D+, D-, P0.0 – P0.1
JP6	P0.4 – P0.7, P3.0
JP7	P0.2 – P0.3
JP8	GND
JP9	+3V3
JP10	+3V3
JP11	+5V

JP12	DEBUG konektor
ADC/P2.4	P2.4
ADC/P2.5	P2.5
RESET	RES/C2CK

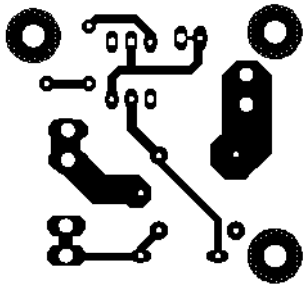
Tab.6. 3 Tabulka zapojení konektorů k MCU.

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1, C2	22p	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C3	0,1uF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
D1	MBR0520	SOD 123	Dioda
DISPLEJ		PINHD – 1x16	Displej
IC1	C8051F320	LQFP32	Mikroprocesor
J1	+5V	MTA02	Konektor
J2	-5V	MTA02	Konektor
JP1		PINHD – 1x16	Konektor
JP3		PINHD – 1x3	Konektor
JP4		PINHD – 1x4	Konektor
JP5		PINHD – 1x4	Konektor
JP6		PINHD – 1x5	Konektor
JP7		PINHD – 1x2	Konektor
JP8		PINHD – 1x4	Konektor
JP9		PINHD – 1x3	Konektor
JP10		PINHD – 1x3	Konektor
JP11		PINHD – 1x3	Konektor
JP12		PINHD – 2x5	Konektor
ADC/P2.4		PINHD – 1x2	Konektor
ADC/P2.5		PINHD – 1x2	Konektor
TIL199	TIL199	DIL16	Optočlen
R1	1k	0204/7	Drátový rezistor
R2, R3, R4	200	0204/7	Drátový rezistor
R5, R7, R9	1k	0204/7	Drátový rezistor
R6	2k2	CA6V	Trimr
RESET		PINHD – 1x2	Konektor
ŘÍZENÍ		PINHD – 1x3	Konektor

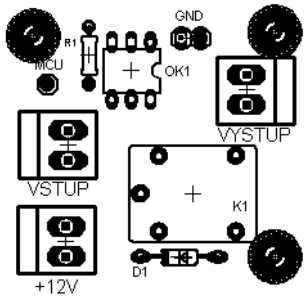
Tab.6. 4 Seznam součástek řízení a ovládání zdroje.



Obr.6. 12 Schéma zapojení obvodu s relé.



Obr.6. 13 DPS obvodu s relé , 1:1.



Obr.6. 14 Rozmístění součástek na DPS .

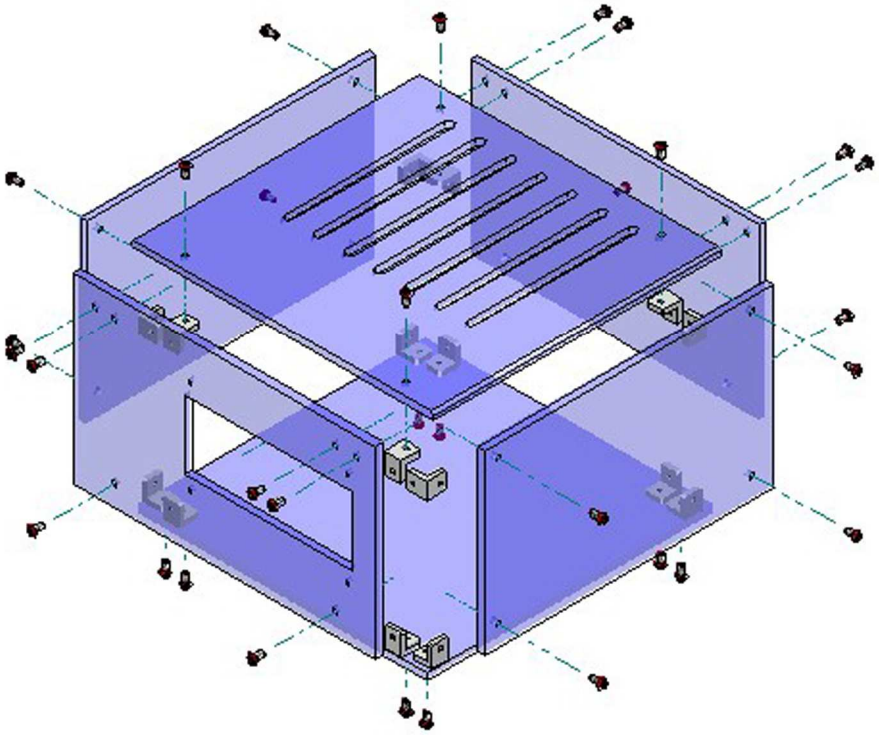
Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	47	0204/7	Drátový rezistor
K1	RAS-1215	CQ1	Relé
OK1	4N33	DIL06	Optočlen
Vstup		MTA02	Konektor
Výstup		MTA02	Konektor
+18V		MTA02	Konektor
MCU		PINHD – 1x1	Konektor
GND		PINHD – 1x2	Konektor

Tab.6. 5 Tabulka součástek obvodu s relé.

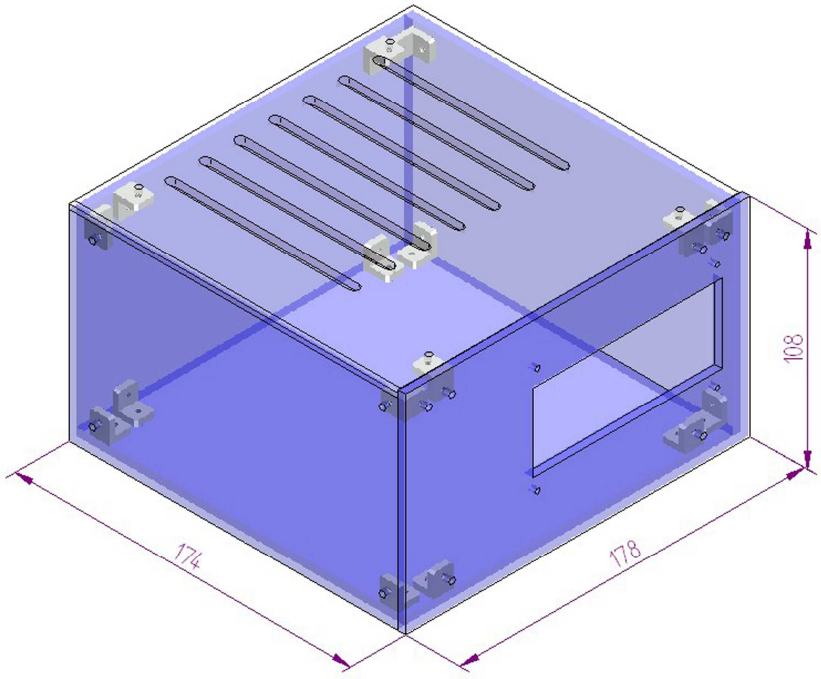
6.4 Návrh a realizace šasi pro zařízení

Návrh šasi byl proveden v programu Solid Edge. Solid Edge je 3D CAD systém primárně určený pro strojírenské konstruování. Jako výchozí materiál byl pro zhotovení šasi zvolen polykarbonát síly 4mm, použití tohoto materiálu má mnoho pozitiv. Jeho hlavní výhoda je, že je elektricky nevodivý, proto nebude muset být šasi chráněno před nebezpečným dotykem. Další výhody jsou vysoká mechanická pevnost při nízkých i vysokých teplotách, materiál se při obrábění neodštěpuje a nepraská, vynikající tepelné izolační vlastnosti, příznivé protipožární technické vlastnosti a především nízká hmotnost. Vrchní kryt má vyfrézované 5mm drážky pro lepší odvádění teplého vzduchu. Stěny šasi jsou v rozích spojeny pomocí hliníkových úhelníků a inbusových šroubů M3. Návrh a konstrukční podklady pro realizaci šasi jsou znázorněny následujícími obrázky.

Potřebné otvory pro konektory a LCD displej byly vyřezány CNC frézou. Do hotového šasi je namontován spínaný zdroj a na pravou bočnici deska plošného spoje s ovládáním a obvodem s relé. Desky plošných spojů jsou upevněny v šasi na distančních sloupcích o výšce 6mm.



Obr.6. 15 Exploze celého šasi.



Obr.6. 16 Zobrazení celého šasi.

Díl	Rozměr [mm]	Počet kusů	Materiál
Přední panel	178x108x4	1	polykarbonát
Zadní panel	170x104x4	1	polykarbonát
Levý a pravá bok	170x100x4	2	polykarbonát
Spodní deska	170x170x4	1	polykarbonát
Horní kryt	170x178x4	1	polykarbonát
Úhelníky	12x10x3	16	hliník
Šrouby	M3x6	32	ocel
Distanční sloupky	M3x5	14	mosaz

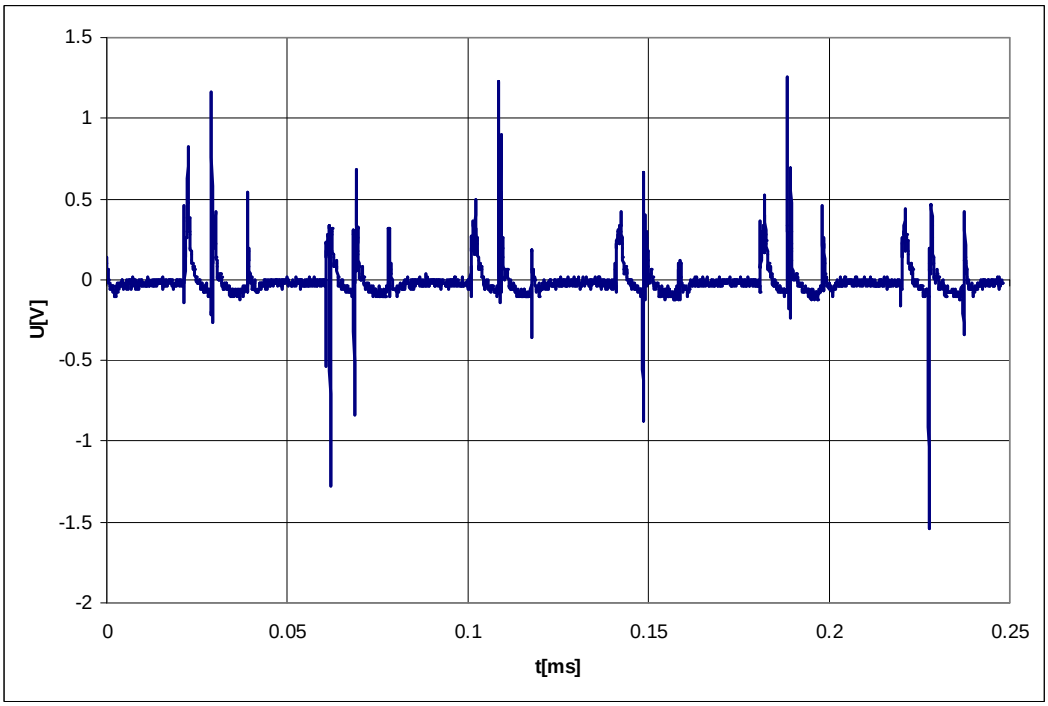
Tab.6. 6 Tabulka rozměrů konstrukčních dílů šasi.

6.5 Náklady na realizaci zařízení

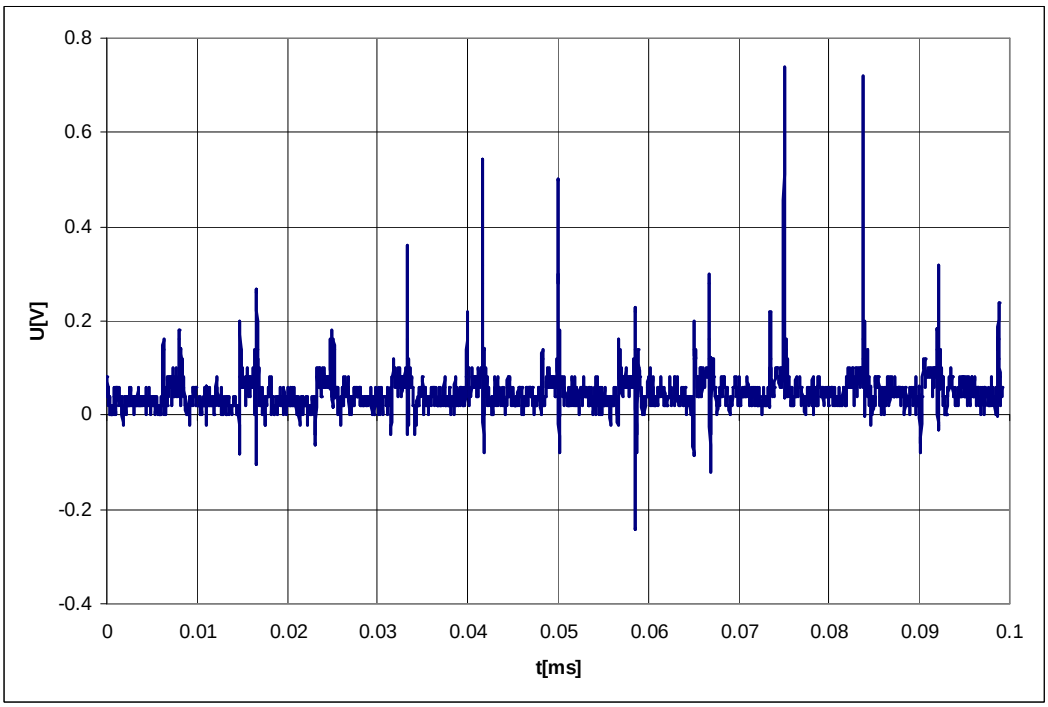
Náklady	Cena
spínaný zdroj	1150,00 Kč
ovládácí prvky	212,00 Kč
materiál a sestavení šasi	650,00 Kč
řízení zdroje	274,00 Kč
kabeláž a konektory	210,00 Kč
konstrukční materiál	230,00 Kč
zásilková služba	160,00 Kč
Cena celkem:	**2886,00 Kč**

Tab.6. 7 Suma všech nákladu na realizaci zařízení.

7 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZHODNOCENÍ

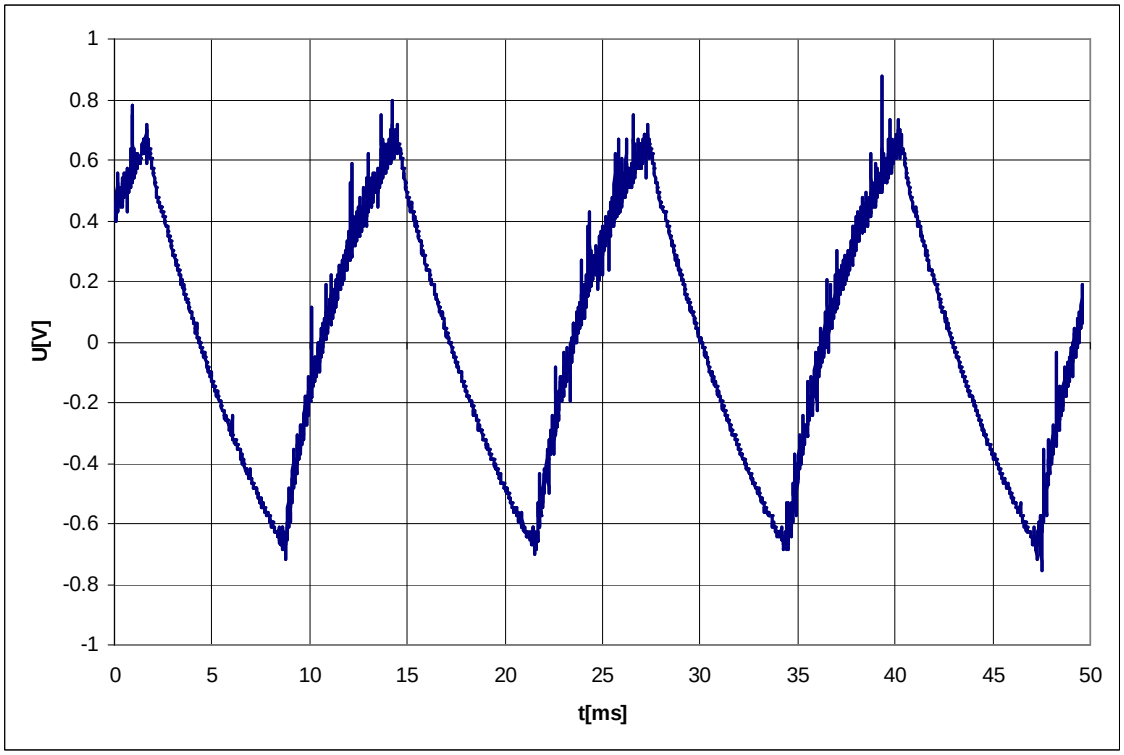


Obr.7. 1 Zvlnění zdroje při proudu 3A.



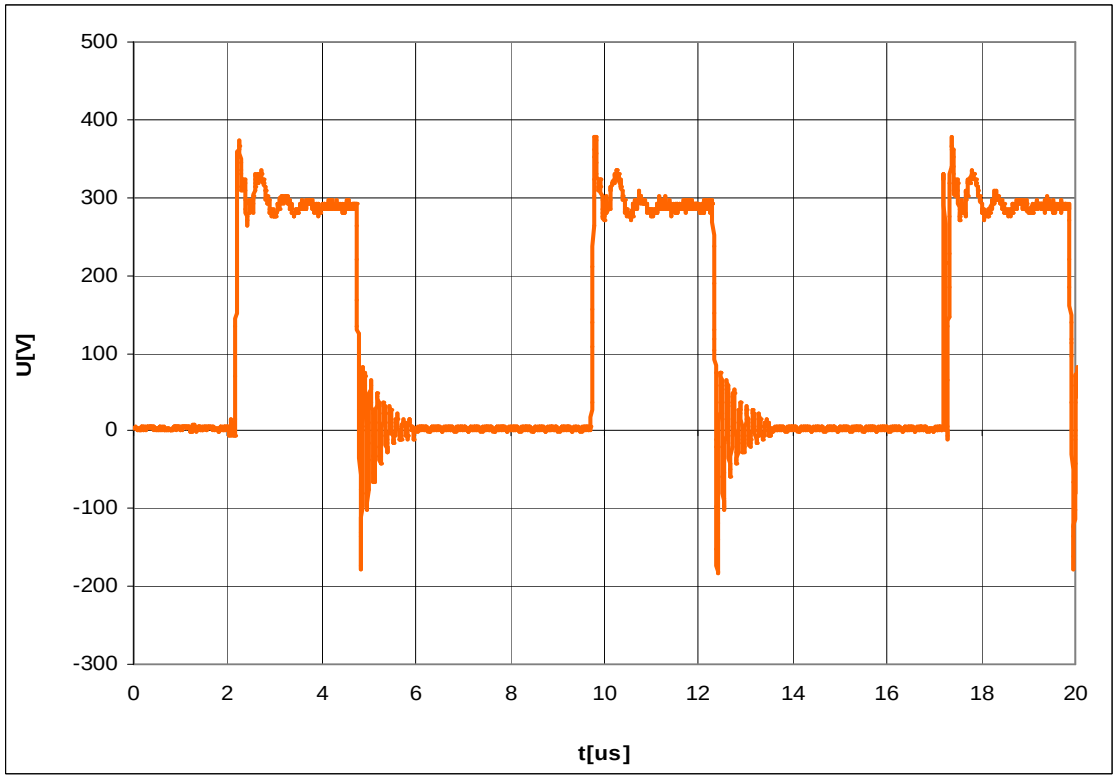
Obr.7. 2 Zvlnění zdroje při proudu 3A.

Na obrázku 7.1 a 7.2 je znázorněno výstupní zvlnění napětí zdroje při výstupním proudu 3A. Bylo zde dosaženo zvlnění 1,3V. Měření bylo provedeno na odporové zátěži.



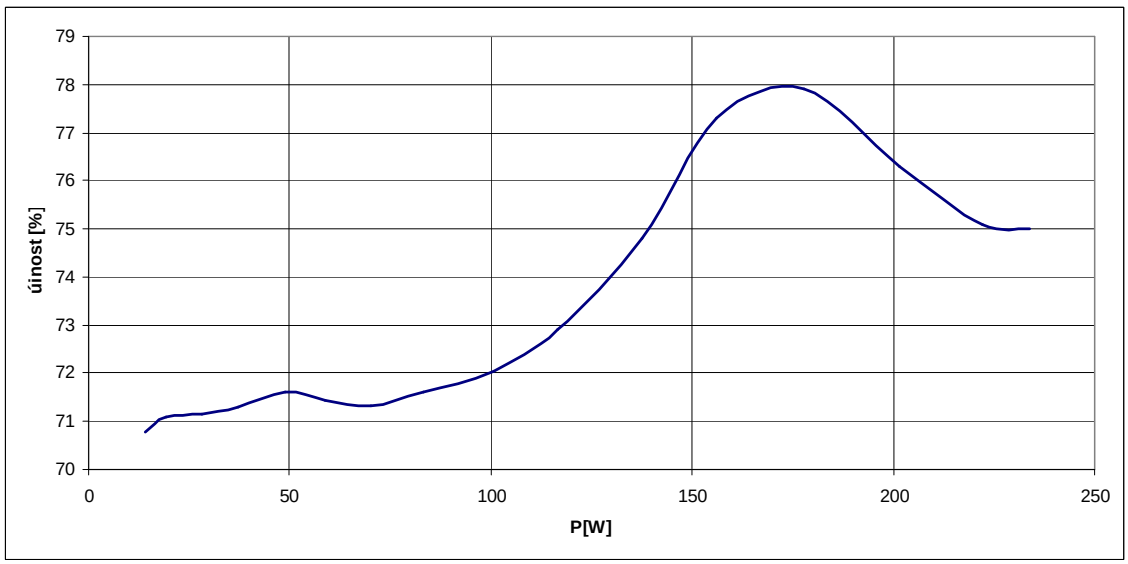
Obr.7. 3 Zvlnění zdroje při proudu 7,2A.

Na obrázku 7.3 je znázorněno výstupní zvlnění napětí zdroje při proudu 7,2A. Měření bylo provedeno na akumulátoru a zvlnění zde bylo 0.8V, což je menší, než na odporové zátěži. Zmenšení zvlnění výstupního napětí lze dosáhnout zvýšením závitů na výstupní cívce. Pro danou aplikaci je zvlnění přijatelné, protože olověné akumulátory, pro které je nabíječka určena nejsou tak citlivé na zvlnění nabíjecího napětí jako jiné druhy akumulátorů.



Obr.7. 4 Oscilogram spínání výkonového tranzistoru TOPSwitch.

Na obrázku 7.4 je znázorněn průběh spínání obvodu TOPSwitch. Spínací kmitočet obvodu je 130kHz. Amplituda dosahuje napětí 300V a jsou zde vidět znatelné zákmity, které jsou způsobeny vlivem indukčnosti transformátoru.



Obr.7. 5 Graf závislosti účinnosti zdroje na výstupním výkonu.

Na obrázku 7.5 je znázorněna účinnost zdroje na výstupním výkonu. Zdroj dosahuje účinnosti v rozmezích 71 - 78 %, dle jeho zatížení. Výkon zdroje je v rozmezích od 15 - 230W, přičemž maximální účinnosti bylo dosaženo při výkonu 175W. Předpokládaná účinnost zdroje podle výpočtů programu PI EXpert 7 byla 82%. Při měření účinnosti zdroje bylo dosaženo maximální účinnosti 78%, tím se ověřilo, že se podařilo navrhnout a zkonstruovat zdroj správně.

7.1 Použité přístroje

Přístroj:	Typ:	TP	Rozsah:
Osciloskop	Tektronix TDS 2022	-	-
Wattmetr	Metra Blansko 307943	0,5	2A/dílek
DC Voltmetr	GW DIGITAL MULTIMER GDM-8145	0,03	20V
DC Ampérmetr	GW DIGITAL MULTIMER GDM-8145	0,3	20A
Multimetr	UT58D	-	-

Tab.7. 1 Tabulka použitých přístrojů.

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo získat znalosti ohledně nabíjení olověných akumulátorů a také znalosti o spínaných technologiích. Na počátku této bakalářské práce byly uvedeny charakteristiky nabíjení olověných akumulátorů. Jejich kombinací je docíleno optimálního nabíjení olověných akumulátorů. Následoval výběr spínacího obvodu napájecího zdroje. Jelikož v zadání projektu nebyl žádný konkrétní uveden, byl vybrán obvod TOPSwitch. Spínaný zdroj řízený obvodem TOPswitch GX250YN přispěl k výraznému snížení hmotnosti celého zařízení a zároveň odolnosti zařízení proti rušivým vlivům. Samotný návrh byl proveden v počítačovém programu PIEXpert 7, v tomto programu byly zadány parametry zdroje, ostatní byly dopočítány a navrženy. Dále bylo zvoleno jádro a kostřička impulzního transformátoru. Podle tohoto výběru a zadání výstupních napětí a proudů jednotlivých vinutí, byly programem vypočteny počty závitů a vzduchová mezera. Z tohoto návrhu bylo zhotoveno schéma zapojení a DPS. Po osazení DPS součástkami byl zdroj oživen. Po drobných úpravách na DPS bylo dosaženo maximální účinnosti 78%, předpokládaná účinnost zdroje podle návrhu v programu PIEXpert 7 byla 82%. Těmito výsledky se ověřilo, že se podařilo navrhnout a zkonstruovat zdroj správně. K dalším parametrům, které byly změřeny patří i zvlnění výstupního napětí a spínání výkonového prvku TOPswitch. Výsledky měření jsou popsány v předchozí kapitole.

V další části tohoto projektu byla zhotovena DPS a osazena součástkami. Pro řízení tohoto zařízení byl zvolen mikroprocesor C8051F320 HQ firmy Silicon Laboratories. Program pro tento mikroprocesor byl napsán ve vývojovém prostředí Keil 3 v programovacím jazyce C a odladěn pomocí vývojového kytu, který dodává též firma Silicon Laboratories.

Nabíječka je ovládána pomocí mechanického rotačního kodéru, start a stop tlačítka. Veškeré informace o zvolené kapacitě akumulátoru a jeho nabíjení se zobrazují na 4x20 LCD displeji. Nad rámec zadání bakalářské práce bylo navrženo a vyrobeno šasi z polykarbonátu.

Nakonec bych zmínil možnosti rozšíření tohoto zařízení. Jako první možnost je rozšířit v menu volbu akumulátoru o další možné kapacity, kapacity akumulátoru se liší podle výrobce. Druhou možností je rozšířit zařízení o nabíjení gelových akumulátorů.

9 LITERATURA

[1] BASSO, C.P. Switch-mode power supply SPICE cookbook. New York: McGraw Hill, 2001, 253 pages ISBN: 0-07-137509-0.

[2] KREJČIŘÍK, A. Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSWITCH. BEN, 2002, 400 stran ISBN: 80-7300-031-8.

[3] ČENĚK, M. Akumulátory od principu k praxi. FCC PUBLIC 2003, 248 stran.

[4] ARENDÁŠ, M. RUČKA. Nabíječky a nabíječe. BEN, 1999, 112 stran.

[5] FAKTOR, Z. Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje. BEN, 2002, 248 stran ISBN:80-86056-91-0.

[6] Power Integration, Inc., http://www.powerint.com , TOPSwitch – GX Application note AN-32, 7/04.

[7] Power Integration, Inc., http://www.powerint.com , TOP 250YN Datasheet, 11/2005.

[8] ON Semiconduktor, http://www.onsemi.com/ , MBR41H100CT-D Datasheet, June 2008.

[9] SKALICKÝ, P. Mikroprocesory řady 8051. BEN, 1988, 159 stran ISBN 80-86056-39-2.

[10] MANN, B. C pro mikro kontrolery. BEN, 2003, 279 stran ISBN 80-7300-077-6 .

[11] MATOUŠEK, D. C pro mikrokontroléry ATMEL AT89S52. BEN 2007, 239 stran ISBN 978-80-7300-215-2.

[12] FRONC, V. Mikrokontroléry Atmel s jádrem 8051. BEN 2001, 127 stran ISBN 80-7300-008-3.

[13] MATOUŠEK, D. Práce s inteligentními displeji LCD. BEN 2006, 222 stran ISBN 80-7300-121-7.

[14] Hardware, http://hw.cz , popis mikrokontroleru C8051F320, 10/2003.

[15] Silicon Laboratories, http://www.silabs.com/ , C8051F320 Datasheet, 12/03.

[16] Kostry ETD, http://www.ferroxcube.com/ , ferroxcube Datasheet koster ETD 39/20/13, Sep 01/2008.

10 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

L	*Line-Sense (vývody na pouzdře TO-220-7C)*
F	*Frequency (vývody na pouzdře TO-220-7C)*
S	*Source (vývody na pouzdře TO-220-7C)*
C_0	*Kontrol (vývody na pouzdře TO-220-7C)*
EMC	*Označení pro elektromagnetickou kompatibilitu*
C	*Označení kondenzátoru*
P	*Výkon*
OV	*Přepětí*
UV	*Označení pro podpětí*
DC_{MAX}	*Maximální hodnota střídy spínání*
Cn	*Kapacita akumulátoru*
T	*Doba vybíjení*
U_p	*Průměrné svorkové napětí*
R	*Zatěžovací odpor*
TP	*Třída přesnosti*
MCU	*Mikrocontroler*
ADC	*AD převodník*

11 SEZNAM PŘÍLOH

11.1 Návrh programu PIExpert 7 40
11.2 Konstrukční výkresy shasi 45
11.3 Fotografie 48

11.1 Návrh programu PIExpert 7

Power Supply Input			
Var	Value	Units	Description
VACMIN	195	V	Minimum Input AC Voltage
VACMAX	265	V	Maximum Input AC Voltage
FL	50	Hz	Line Frequency
TC	1,98	ms	Diode Conduction Time
Z	0,63		Loss Allocation Factor
ŋ	80,0	%	Efficiency Estimate
IAVG	1,23	A	Average Diode Bridge Current
Input Rectifier	1N5408		Recommended Input Diodes
VMIN	226,4	V	Minimum DC Input Voltage
VMAX	374,8	V	Maximum DC Input Voltage
EMI Filter			
Var	Value	Units	Description
CIN1	180,00	µF	Input Bulk Capacitor
LCM	6,00	mH	Common Mode Choke
CX	0,10	µF	X Capacitor
Device Variables			
Var	Value	Units	Description
Device	TOP250YN		PI Device Name
PO	222,43	W	Total Continuous Output Power
PO_PEAK	222,43	W	Total Peak Output Power
PO_AVG	222,43	W	Total Average Output Power
VDRAIN Estimated	586,25	V	Actual Estimated Drain Voltage
VDS	13,42	V	On state Drain to Source Voltage
FS	132000	Hz	Switching Frequency
KP	0,72		Continuous/Discontinuous Operating Ratio
KI	1,00		Current Limit Reduction Factor
ILIMITEXT	5,86	A	Programmed Current Limit
ILIMITMIN	5,86	A	Current Limit Minimum
ILIMITMAX	6,74	A	Current Limit Maximum
IP	5,61	A	Peak Primary Current (at VMIN)
IRMS	2,21	A	Primary RMS Current (at VMIN)
P_NO_LOAD	500	mW	Estimated No Load Input Power
DMAX	0,34		Maximum Duty Cycle
RLS	4,7	MΩ	Line sense resistor
Clamp Components			
Var	Value	Units	Description
DB	FR257		Recommended Blocking Diode
RC	7,50	kΩ	Clamping resistor
CC	10 000	nF	Clamp Capacitor
VCLAMP	174,01	V	Estimated average clamping

			voltage
VRZ	P6KE200A		Recommended Zener Clamp
Clamp Loss	4,04	W	Clamp Dissipation
Bias Variables			
Var	Value	Units	Description
VB	12,0	V	Bias Voltage
IB	0,006	A	Bias Current
VDB	0,95	V	Bias Diode Forward Voltage Drop
PIVB	64	V	Bias Rectifier Max Peak Inverse Voltage
NB	3		Bias Winding Number of Turns
Wire Size	25	AWG	Wire size of Bias windings
Winding Type	Bifilar (x2)		Wire type of Bias windings
Layers	0,12		Bias Winding Layers
Start Pin(s)	6		Starting pin(s) for Bias winding
Termination Pin(s)	5		Termination pin(s) for Bias winding
Transformer Construction Parameters			
Var	Value	Units	Description
Core Type	ETD39/20/13		Core Type
Core Material	NC-2H (Nicera) or Equivalent		Core Material
Bobbin Reference	Generic, 8 pri. + 8 sec.		Bobbin Reference
Bobbin Orientation	Horizontal		Bobbin type
Primary Pins	6		Number of Primary pins used
Secondary Pins	6		Number of Secondary pins used
LP	135	µH	Primary Inductance
NP	21,4		Calculated Primary Winding Total Number of Turns
NSM	3		Secondary Main Number of Turns
CMA	584	Cmils/A	Primary Winding Current Capacity
VOR	110,00	V	Reflected Output Voltage
BW	25,70	mm	Bobbin Winding Width
ML	0,00	mm	Safety Margin on Left Width
MR	0,00	mm	Safety Margin on Right Width
FF	77	%	Actual Transformer Fit Factor. 100% signifies fully utilized winding window
AE	125,00	mm²	Core Cross Sectional Area
ALG	293	nH/T²	Gapped Core Effective Inductance
BM	2822	Gauss	Maximum Flux Density
BP	3388	Gauss	Peak Flux Density
BAC	1010	Gauss	AC Flux Density for Core Loss
LG	0,474	mm	Estimated Gap Length
L_LKG	2,2	µH	Primary Leakage Inductance

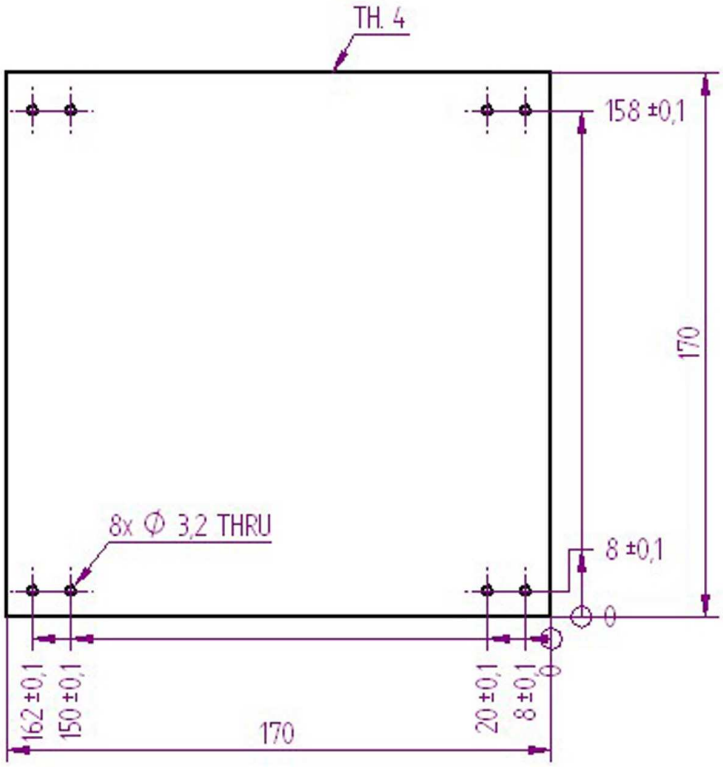
LSEC	20	nH	Secondary Trace Inductance
Primary Winding Section 1			
Var	Value	Units	Description
NP1	11		Rounded (Integer) Number of Primary winding turns in the first section of primary
Wire Size	24	AWG	Wire size of primary winding
Winding Type	Trifilar (x3)		Primary winding number of parallel wire strands
L	0,73		Primary Number of Layers
DC Copper Loss	0,08	W	Primary DC Losses
PIN_S	4		Starting pin(s) for first section of primary winding
PIN_T	2,3		Termination pin(s) for first section of primary winding
Primary Winding Section 2			
Var	Value	Units	Description
NP2	11		Rounded (Integer) Number of Primary winding turns in the second section of primary
Wire Size	24	AWG	Wire size of primary winding
Winding Type	Trifilar (x3)		Primary winding number of parallel wire strands
L2	0,73		Primary Number of Layers in 2nd split winding
DC Copper Loss	0,13	W	Primary 2 DC Losses
PIN_S2	2,3		Starting pin(s) for the second section of primary winding
PIN_T2	1		Termination pin(s) for the second section of primary winding
Output 1			
Var	Value	Units	Description
VO	15,00	V	Output Voltage
IO	1,00	A	Output Current (Continuous Load)
IO_PEAK	1,00	A	Output Current at Peak Load
VOUT_ACTUAL	14,55	V	Actual Output Voltage
NS	3		Secondary Number of Turns
Wire Size	25	AWG	Wire size of secondary winding
Winding Type	Single (x1)		Output winding number of parallel strands
L_S_OUT	0,08		Secondary Output Winding Layers
DC Copper Loss	0,05	W	Secondary DC Losses
Start Pin(s)	14		Starting pin(s) for Output winding
Termination Pin(s)	13		Termination pin(s) for Output winding
VD	0,85	V	Output Winding Diode Forward Voltage Drop
PIVS	66	V	Output Rectifier Maximum Peak

			Inverse Voltage
ISP	2,60	A	Peak Secondary Current
ISRMS	1,42	A	Secondary RMS Current
DO	SB180		Recommended Output Diode
CO	330 x 1	µF	Output Capacitor
IRIPPLE	1,01	A	Output Capacitor RMS Ripple Current
Expected Lifetime	32799	hr	Expected Lifetime of Output Capacitor
LPF	2,2 - 10	µH	Post Filter Inductor
CPF	100 - 680	µF	Post Filter Capacitor
Output 2			
Var	Value	Units	Description
VO	14,40	V	Output Voltage
IO	2,40	A	Output Current (Continuous Load)
IO_PEAK	2,40	A	Output Current at Peak Load
VOUT_ACTUAL	14,40	V	Actual Output Voltage
NS	3		Secondary Number of Turns
Wire Size	26	AWG	Wire size of secondary winding
Winding Type	Trifilar (x3)		Output winding number of parallel strands
L_S_OUT	0,21		Secondary Output Winding Layers
DC Copper Loss	0,14	W	Secondary DC Losses
Start Pin(s)	12		Starting pin(s) for Output winding
Termination Pin(s)	11		Termination pin(s) for Output winding
VD	1,00	V	Output Winding Diode Forward Voltage Drop
PIVS	66	V	Output Rectifier Maximum Peak Inverse Voltage
ISP	6,23	A	Peak Secondary Current
ISRMS	3,41	A	Secondary RMS Current
DO	UF5401		Recommended Output Diode
CO	1500 x 1	µF	Output Capacitor
IRIPPLE	2,43	A	Output Capacitor RMS Ripple Current
Expected Lifetime	46977	hr	Expected Lifetime of Output Capacitor
LPF	2,2 - 10	µH	Post Filter Inductor
CPF	100 - 680	µF	Post Filter Capacitor
Output 3			
Var	Value	Units	Description
VO	14,40	V	Output Voltage
IO	12,00	A	Output Current (Continuous Load)
IO_PEAK	12,00	A	Output Current at Peak Load
VOUT_ACTUAL	14,40	V	Actual Output Voltage
NS	3		Secondary Number of Turns
Foil Thickness	5	mil	Wire size of secondary winding
Winding Type	Foil		Output winding number of parallel strands

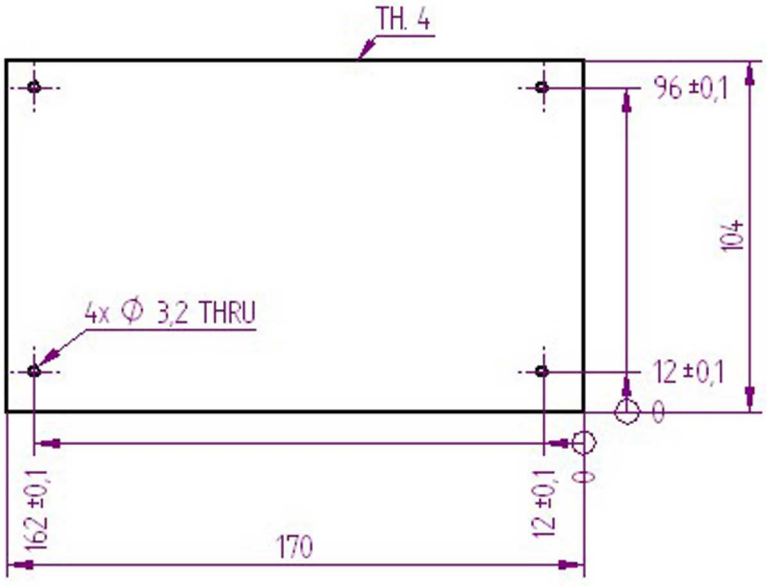
L_S_OUT	3,00		Secondary Output Winding Layers
DC Copper Loss	0,15	W	Secondary DC Losses
Start Pin(s)	10		Starting pin(s) for Output winding
Termination Pin(s)	9		Termination pin(s) for Output winding
VD	1,00	V	Output Winding Diode Forward Voltage Drop
PIVS	66	V	Output Rectifier Maximum Peak Inverse Voltage
ISP	31,16	A	Peak Secondary Current
ISRMS	17,07	A	Secondary RMS Current
DO	Undefined		Recommended Output Diode
CO	1800 x 4	µF	Output Capacitor
IRIPPLE	12,14	A	Output Capacitor RMS Ripple Current
Expected Lifetime	41874	hr	Expected Lifetime of Output Capacitor
LPF	2,2 - 10	µH	Post Filter Inductor
CPF	100 - 680	µF	Post Filter Capacitor
Feedback Circuit			
Var	Value	Units	Description
RF1	7,50	kΩ	Feedback Resistor to bias the error Amplifier
RF2	35,70	kΩ	Compensation resistor
RF3	267,00	Ω	Gain limiting Resistor
RF5	6,81	Ω	TOPSwitch Control Pin Resistor
CF1	100,00	nF	Compensation Capacitor
CF3	47,00	µF	TOPSwitch Control Pin Capacitor
Opto CTR	80,00		Optocoupler Current Transfer Ratio
Error Amp Gain	55,00	dB	Error Amplifier Open Loop Gain
PM	103,72	Deg	Estimated Phase Margin
FC_ACTUAL	1016,6	Hz	Estimated Crossover Frequency

Tab.11. 1 Výstupní tabulka návrhového programu PIExpert 7

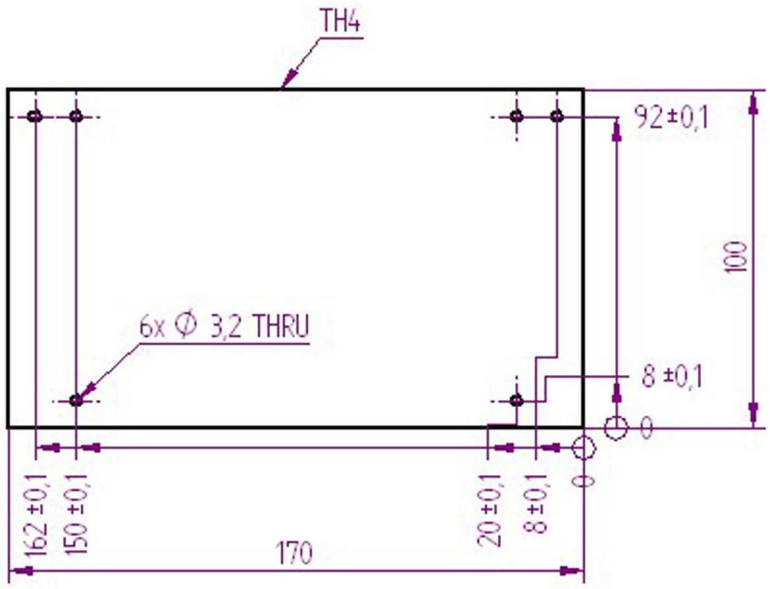
11.2 Konstrukční výkresy shasi



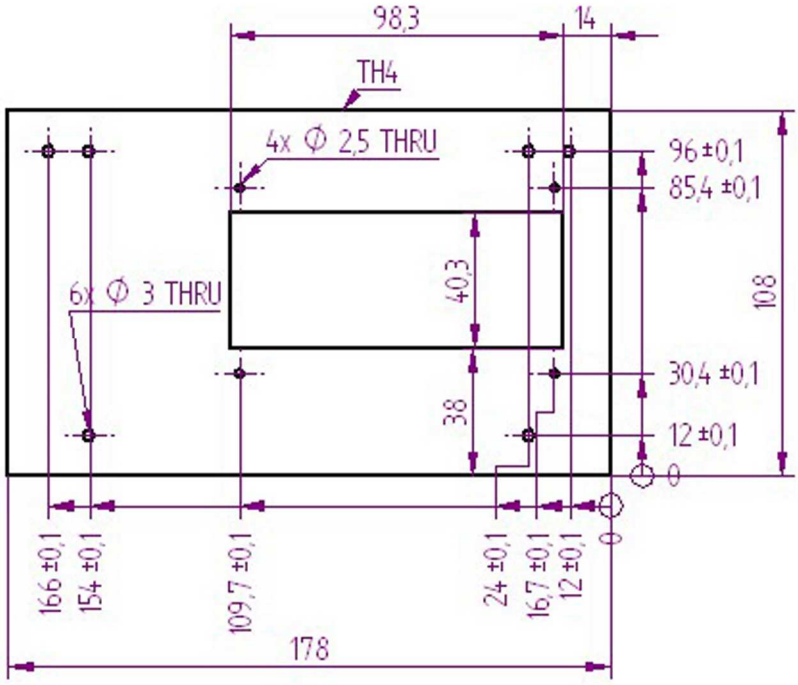
Obr.11. 1 Spodní deska.



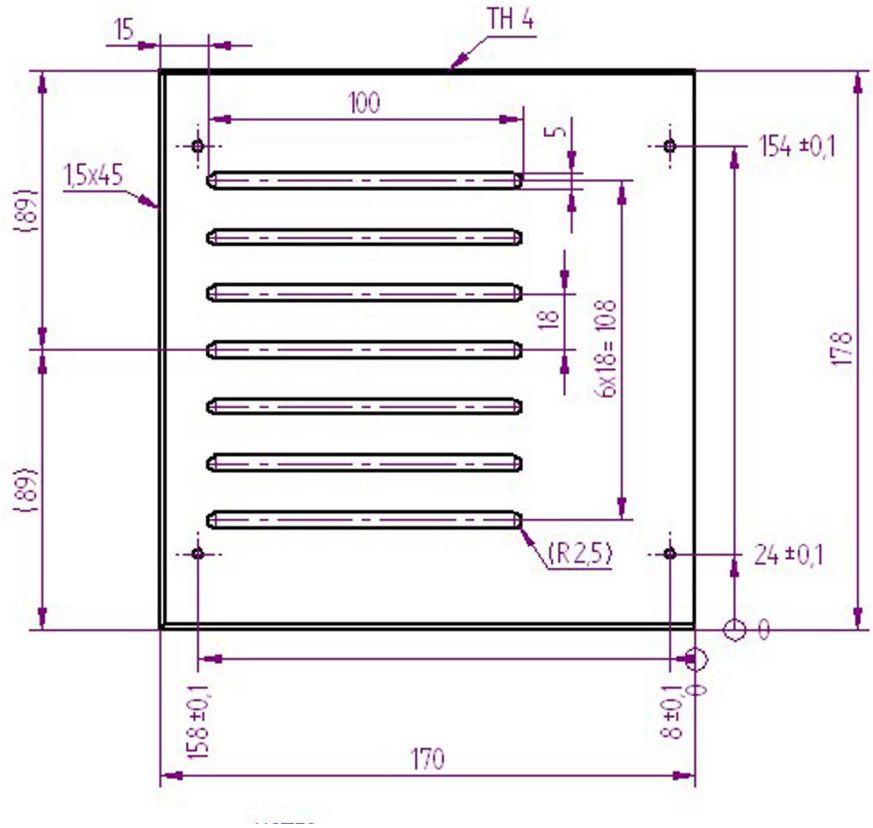
Obr.11. 2 Zadní deska.



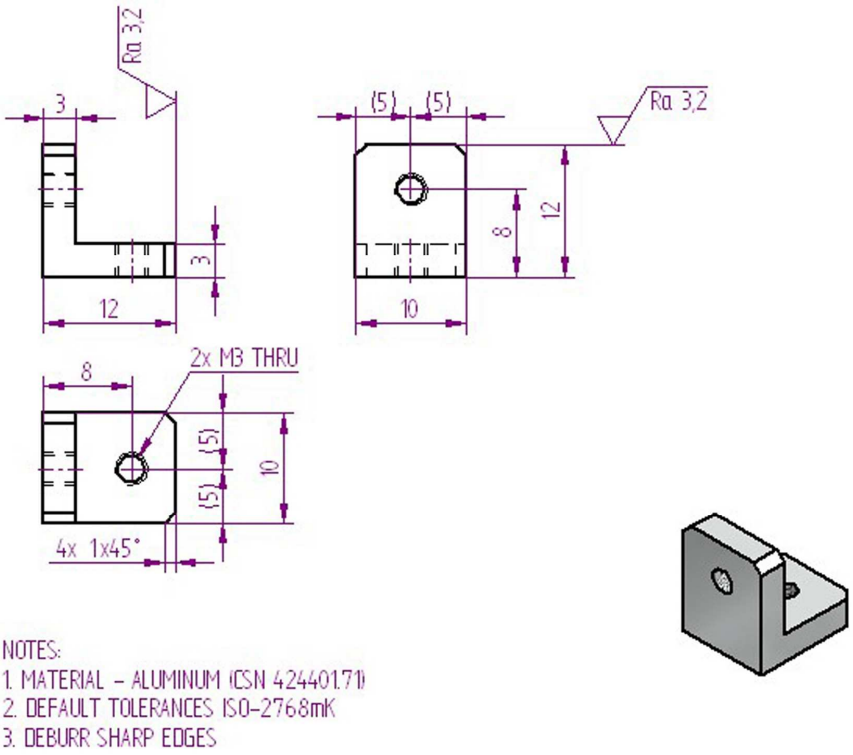
Obr.11. 3 Levý a pravý bok.



Obr.11. 4 Přední panel.



Obr.11. 5 Horní kryt.



Obr.11. 6 Hliníkový úhelník.

11.3 Fotografie

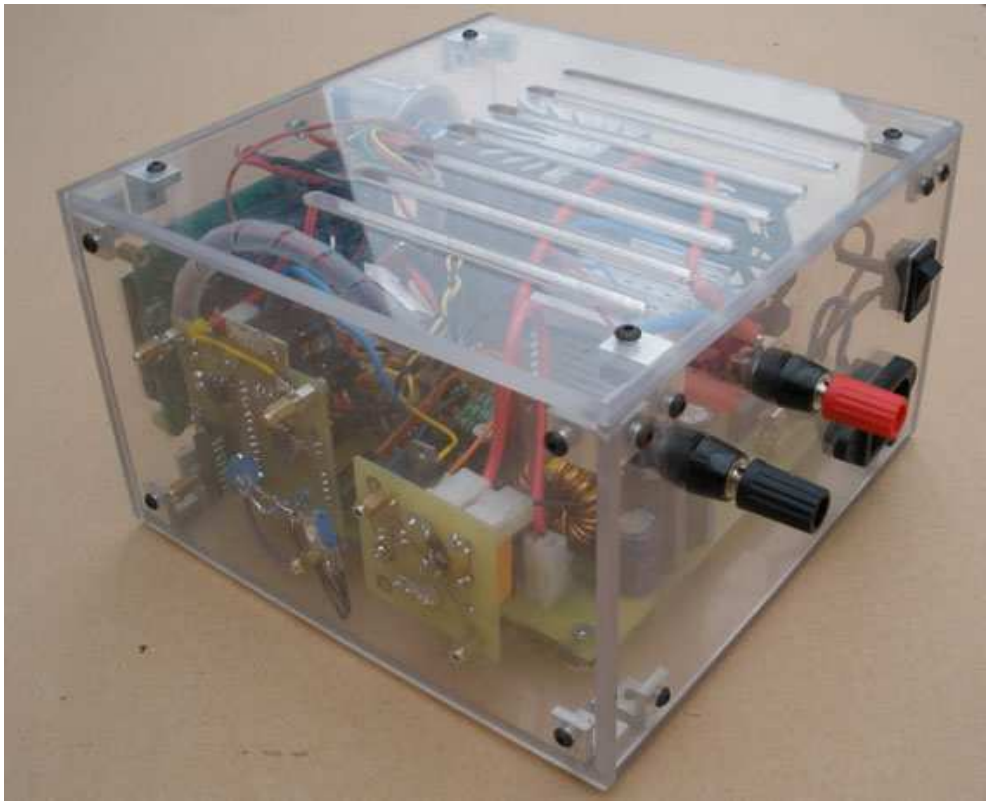
Obr.11. 7 Zapojení nabíječky k akumulátoru.

Obr.11. 8 Úvodní zobrazení po zapnutí nabíječky.

Obr.11. 9 Volba kapacity akumulátoru.

Obr.11. 10 Ukončení nabíjení akumulátoru.

Obr.11. 11 Pohled 1.



Obr.11. 12 Pohled 2.