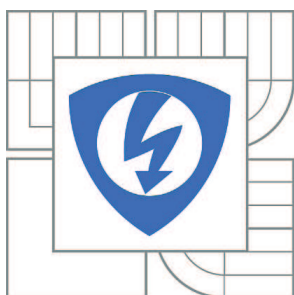


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

AUTOMATICKÝ NABÍJEČ AKUMULÁTORŮ PRO ZDRAVOTNICKÉ PŘÍSTROJE

AUTOMATIC BATTERY CHARGER FOR MEDICAL EQUIPMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

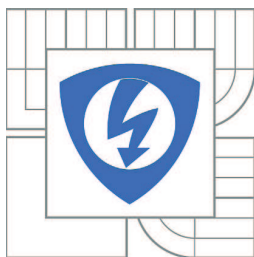
Bc. OLDŘICH TALANDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN CHMELARŮ, CSc.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské a ekologické inženýrství

Student: Bc. Oldřich Talanda

ID: 80433

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Automatický nabíječ akumulátorů pro zdravotnické přístroje

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Rozeberte vůastnosti akumulátorů používaných ve zdravotnických přístrojích a to nejen z hlediska jejich základních parametrů, ale i z hlediska požadavků na jejich provoz a kapacitu. Na základě toho navrhnete automatický nabíječ, který by umožňoval nabíjení akumulátorů s maximální kapacitou 20Ah s přihlednutím k omezením, které pro jednotlivé typy akumulátorů platí, případně i s jejich regenerací. Výstup nabíječe by měl obsahovat ochranu proti přepólování a indikaci funkce nabíječe. V diplomní práci musí být rozbor zadání, návrh obvodů, elektrické schéma a rozpiska součástek.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Arendaš M., Ručka M.: Nabíječky a nabíjení, BEN 2002

[2] Marek J., Stehlík L.: Hermetické akumulátory v praxi, BEN 2004

Termín zadání: 12.10.2009

Termín odevzdání: 21.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

prof. Ing. Jiří Jan, 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.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Oldřich Talanda
Bytem: Dr. Skaláka 8, Přerov, 750 02
Narozen/a (datum a místo): 18. září 1984 v Šternberku

(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. Ing. Jiří Jan, CSc, předseda rady oboru Biomedicínské a ekologické inženýrství
(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: Automatický nabíječ pro zdravotnické přístroje
Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.
Ústav: Ústav biomedicínského inženýrství
Datum obhajoby VŠKP: 7. nebo 8. června 2010 *

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 pořizování 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
 - 10 let 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 tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 20. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Záměrem této práce je popsat vlastnosti akumulátorů používaných ve zdravotnictví a navrhnout automatický nabíječ akumulátorů pro zdravotnické přístroje.

V první části diplomové práce jsou rozebrány nejčastěji používané druhy elektrochemických systémů akumulátorů používaných ve zdravotnictví. Dále jsou uvedeny kritéria pro rozpoznání stavu nabití akumulátorů.

V druhé části diplomové práce jsou definovány požadavky na automatický nabíječ a jsou zde navržena konkrétní obvodová řešení.

Abstrakt:

The goal of this thesis is describe properties accumulators used in medical industry and proposal automatic battery charger for medical equipment.

The first part of the master's thesis describes the most commonly used types of electrochemical accumulator systems used in the medical industry. Further listed are the criteria for the identification of the accumulator charge status.

The second part of the master's thesis defines demands on automatic battery charger and proposal factual network solution.

Klíčová slova:

Nabíječka baterii, akumulátory, NiCd, NiMH, RAM, gelové olověné akumulátory

Keywords:

Battery charger, accumulators, NiCd, NiMH, RAM, gel lead accumulator

Bibliografická citace mé práce:

TALANDA, O. *Automatický nabíječ akumulátorů pro zdravotnické přístroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 58 s.
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Automatický nabíječ pro zdravotnické přístroje 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 diplomové 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 20. května 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za trpělivost při konzultacích a veškerou pomoc při řešení a zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 20. května 2010

.....
podpis autora

1	ÚVOD	9
2	VLASTNOSTI AKUMULÁTORŮ	10
2.1	Základní parametry a pojmy [1]	10
2.2	NiCd akumulátory	11
2.3	NiMH akumulátory	12
2.4	Akumulátory s nízkým samovybíjením [10]	14
2.5	Nabíjecí alkalické akumulátory (RAM) [13]	15
2.6	Gelové olověné akumulátory	16
2.7	Li-Ion akumulátory	18
3	ROZPOZNÁNÍ STAVU NABÍTÍ AKUMULÁTORU	21
3.1	Druhy nabíjení:	21
3.2	Metody ukončení nabíjení [8]:	21
4	NÁVRH A REALIZACE AUTOMATICKÉHO NABÍJEČE	25
4.1	Modul zdroje	25
4.2	Modul NiCd/NiMH	30
4.3	Modul RAM	34
4.4	Modul gelových olověných akumulátorů	36
4.5	Modul Li-Ion akumulátorů	41
5	OŽIVENÍ A UVEDENÍ DO PROVOZU	44
5.1	Modul spínaného zdroje	44
5.2	Modul NiCd/NiMH	44
5.3	Modul RAM	44
5.4	Modul gelových olověných akumulátorů	44
5.5	Modul Li-Ion akumulátorů	44
6	NÁVOD NA POUŽITÍ	45
6.1	Postup nabíjení NiCd/NiMH akumulátorů:	45
6.2	Postup nabíjení alkalických nabíjecích akumulátorů:	45
6.3	Postup nabíjení gelových olověných akumulátorů:	46
6.4	Postup nabíjení Li-Ion akumulátorů:	46
7	ZÁVĚR	47
8	POUŽITÁ LITERATURA	48
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	49
10	SEZNAM TABULEK	50
	PŘÍLOHA A: DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	51
	PŘÍLOHA B: OSAZOVACÍ PLÁNY	53
	PŘÍLOHA C: ROZPISKA SOUČÁSTEK	55

1 Úvod

V dnešní době je ve zdravotnictví čím dal více přístrojů napájených elektrickou energií. Návrh napájení medicínských elektrických zařízení je problematikou podrobovanou neustálému vývoji. Dle normy EN 61000-3-2 musí být některé přístroje schopné plnit svou funkci minimálně dvě hodiny po výpadku el. proudu. Proto mají tyto přístroje záložní baterie. Zároveň v mobilních biomedicínských přístrojích se používá napájení z baterií. Záměrem této práce je navrhnout automatický nabíječ pro biomedicínské přístroje, který by byl schopný nabíjet různé druhy a kapacity akumulátorů.

První část diplomové práce je věnována seznámení se s akumulátory. Jsou zde uvedeny základní pojmy a rozebrány nejčastěji používané elektrochemické systémy akumulátorů, jež se používají ve zdravotnictví a to nejen z hlediska jejich základních parametrů, ale i z hlediska požadavků na jejich provoz a kapacitu.

V další části práce jsou rozebrány principy nabíjení jednotlivých elektrochemických systémů a jsou popsány kritéria pro rozpoznání stavu nabití akumulátoru.

Třetí část diplomové práce se věnuje jednotlivým modulům. Rozebírá potřeby nabíjení jednotlivých typů akumulátorů, volí konkrétní řešení.

V závěrečné části je návod na oživení a uvedení do provozu automatického nabíječe a návod pro použití.

2 Vlastnosti akumulátorů

Tato kapitola pojednává o základních parametrech a pojmech v oblasti akumulátorů a rozebírá vlastnosti nejčastěji používaných druhů akumulátorů v biomedicínských přístrojích. Jde o NiCd (niklo – kadmiové), NiMH (niklo - metal – hybridové), RAM (alkalické), Li-Ion a gelové olověné akumulátory.

2.1 Základní parametry a pojmy [1]

Mezi základní pojmy se řadí kapacita, jmenovité napětí, impedance, nabíjecí/vybíjecí charakteristiky, samovolné vybíjení, paměťový efekt a poměrný nabíjecí/vybíjecí proud.

- **Kapacita** - je základním parametrem každého akumulátoru. Ta udává velikost elektrického náboje, který akumulátor může předat při vybíjení v definovaném režimu od počátečního do konečného napětí. Nejčastěji se udává v ampérhodinách [Ah], nebo miliampérhodinách [mAh].
- **Jmenovité napětí** – je napětí jednoho článku a je určeno elektrochemickým systémem akumulátoru
- **Impedance (vnitřní odpor)** – udává schopnost akumulátoru dodávat větší nebo menší proud. Malá hodnota vnitřního odporu umožňuje akumulátoru dodávat velké proudy, prodlužuje dobu, po kterou je akumulátor schopen dodávat el. energii a zvyšuje samovolné vybíjení.
- **Nabíjecí/vybíjecí charakteristiky** – udávají voltampérové charakteristiky nabíjecích a vybíjecích napětí a proudů.
- **Samovolného vybíjení** – akumulátor není schopen trvale udržet jednou nabitý náboj. Díky samovolným místním reakcím ztrácí akumulátory svůj náboj.
- **Poměrný nabíjecí/vybíjecí proud** – udává se z toho důvodu, aby bylo možné vyjádřit velikost nabíjecího/vybíjecího proudu bez ohledu na kapacitu akumulátoru. Udává se jako násobek písmene C, které zastupuje jmenovitou hodnotu akumulátoru.
- **Paměťový efekt** – jež většinou vzniká díky častému nabíjení příliš nízkým proudem, nebo nesprávným užíváním. Je způsoben krystalickými nánosy usazenin na elektrodách. U moderních akumulátorů se již nevyskytuje.

Tab. 2.1: Srovnání vlastností různých typů akumulátorů [2], [12]

Typ	Li-Ion	NiCd	NiMH	NiMH*	SLA	RAM
Energetická hustota [Wh/kg]	100	40	60	120	30	110
Energetická hustota [Wh/l]	225	100	140	250	60	320
Jmenovité napětí [V]	3,6	1,2	1,2	1,2	2	1,5
Profil vybíjení	klesající	plochý	plochý	plochý	pomalu klesající	plochý
Samovybíjení [%/měsíc]	8	25	20 - 25	1,8	2	0,1
Vnitřní odpor [Ω]	0,300	0,100	0,180	0,200	0,010	0,200
Počet nabíjecích cyklů	>500	1000	800	1000	700 až 1000	50-500

*NiMH s minimálním samovybíjením

2.2 NiCd akumulátory

Tyto akumulátory jsou složeny ze tří vrstev. Kladná elektroda je ze spékaného velmi porézního hydroxidu niklu, zápornou elektrodu tvoří kadmium a mezi elektrodami je rovněž porézní separátor. Ten je většinou vyrobený z nylonu. V elektrodách a separátoru je nasáklý elektrolyt hydroxidu draselného. Články se nejčastěji vyrábí jako válcové nebo ve tvaru hranolu.

V dnešní době je tento elektrochemický systém však už na ústupu zejména kvůli vysoké toxicitě kadmia.

2.2.1 Pro nás důležité parametry

- **Vnitřní odpor** NiCd akumulátorů je velmi malý (cca 100 mΩ). Díky tomu jsou tyto akumulátory vhodným zdrojem energie pro spotřebiče, u kterých je třeba po krátkou dobu dodávat velké proudy.
- **Nabíjecí a vybíjecí charakteristika, viz Obr. 2.1 a Obr. 2.2** – Při nabíjení konstantním proudem napětí vzrůstá a při dosažení 90% kapacity akumulátoru dosáhne svého maxima a začne klesat.
- **Samovolné vybíjení** – díky malému vnitřnímu odporu není tak velké jako u NiMH akumulátorů a zároveň není příliš ovlivněn teplotou.
- **Paměťový efekt** – je výrazný. Zvláště pokud akumulátory pravidelně vybíjíme jen z části. Poté si akumulátor „zapamatuje“ hodnotu na které vybíjení nejčastěji končí a na této hodnotě pak dochází k výraznému úbytku napětí. Vybitím článku na napětí 1 V a následným nabitím lze paměťový efekt odstranit.

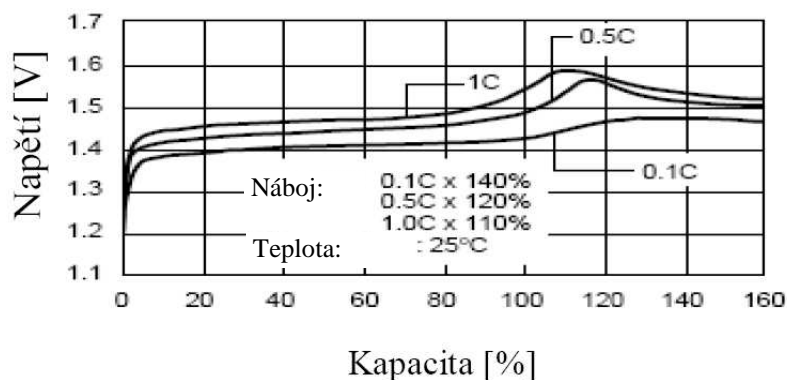
2.2.2 Další parametry

Výhody:

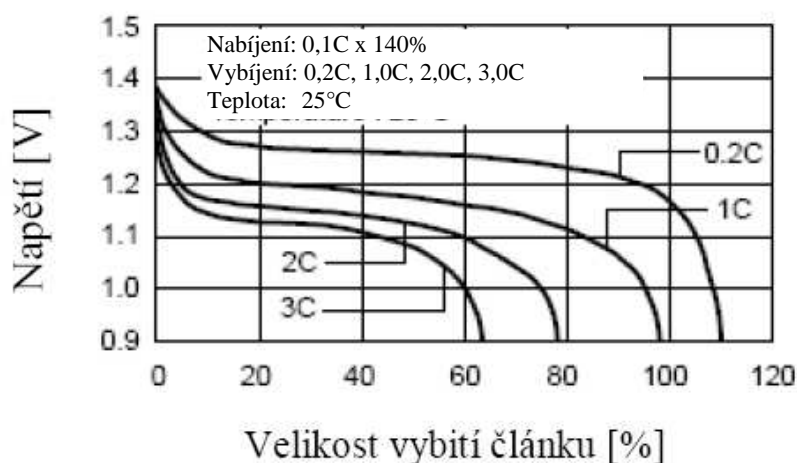
- Vysoká spolehlivost a životnost
- Možnost odběru velmi vysokých proudů
- Schopnost velmi rychlého nabíjení
- Velký rozsah pracovních teplot pro vybíjení
- Odolnost vůči rázům a vibracím

Nevýhody:

- Menší měrná energie vztažená na hmotnost / objem
- Náhlý pokles napětí na konci vybíjení



Obr. 2.1: Nabíjecí charakteristika NiCd akumulátoru; převzato z [3]



Obr. 2.2: Vybíjecí charakteristika NiCd akumulátoru; převzato z [3]

2.2.3 Požadavky na provoz a kapacitu

NiCd akumulátory se v současnosti ve zdravotnictví příliš nepoužívají. Jejich největší předností je schopnost dodávat vysoké vybíjecí proudy. Zdravotnické přístroje však u těchto typů akumulátorů kladou důraz na kapacitu a odebírají malé či střední hodnoty proudu.

Jediný typ přístrojů, který tyto akumulátory využívá jsou defibrilátory a i zde jsou nahrazovány modernějšími Li- Ion akumulátory.

2.3 NiMH akumulátory

Akumulátory s tímto elektrochemickým systémem mají velmi podobnou stavbu jako NiCd akumulátory. Záporná elektroda z kadmia však byla nahrazena elektrodou z kovové slitiny (obvykle lantan - nikl), která má schopnost vázat vodík. Oproti NiCd akumulátorům mají vyšší cenu, avšak mohou mít až o 40% větší kapacitu.

2.3.1 Pro nás důležité parametry

- **Vnitřní odpor** NiMH akumulátorů je velký (cca 200 mΩ). Proto tyto akumulátory nejsou vhodné pro zařízení, která odebírají velké proudy.
- **Nabíjecí a vybíjecí charakteristika, viz Obr. 2.3 a Obr. 2.4** – jsou velmi podobné jako u NiCd akumulátorů. Avšak postrádají ostré maximum napětí při nabíjení konstantním proudem. Místo toho po dosažení maximálního napětí na dané hodnotě chvíli zůstanou a pak teprve začne napětí klesat.

- **Samovolné vybíjení** – je o něco větší než u NiCd akumulátorů, při poklesu teploty akumulátorů na 5°C se však samovolné vybíjení značně zpomalí. Proto je vhodné NiMH akumulátory při této teplotě skladovat.
- **Paměťový efekt** – je nevýrazný. Při častějším neúplném vybití akumulátoru se projevuje poklesem napětí při zatížení. Některé prameny uvádějí, že se paměťový efekt u NiMH akumulátorů vůbec nevyskytuje[5].

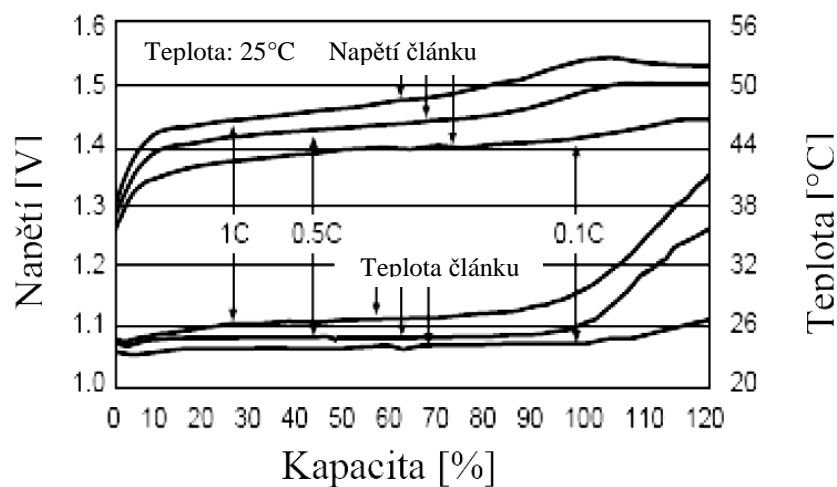
2.3.2 Další parametry

Výhody:

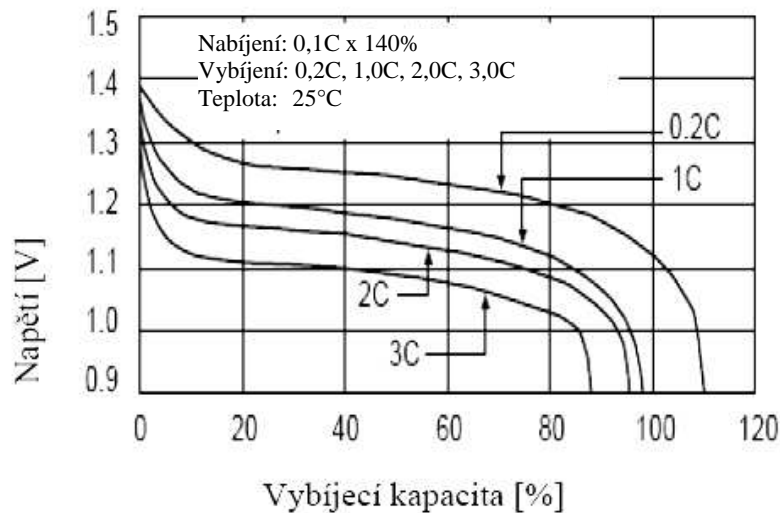
- Větší měrná energie vztažená na hmotnost / objem než u NiCd
- Menší zátěž na životní prostředí

Nevýhody:

- Menší rozsah klimatických a mechanických odolností
- Větší samovybíjení
- Vyšší vnitřní impedance
- Vyšší pořizovací cena oproti NiCd
- Větší hmotnost



Obr. 2.3: Nabíjecí charakteristika NiMH článku; převzato z [4]



Obr. 2.4: Vybíjecí charakteristika NiMH článku; převzato z [4]

2.3.3 Požadavky na provoz a kapacitu

NiMH akumulátory jsou v současnosti jedny z nejčastěji používaných akumulátorů ve zdravotnictví. Používají se například v infuzních pumpách, injekčních dávkovačích, oxymetrech, telemetrických jednotkách, či v terapeutických pomůckách. Z tohoto výčtu je patrné, že u akumulátorů je kladen důraz především na vysokou kapacitu a velký počet nabíjecích cyklů. V některých případech je však problém jejich hodnota jmenovitého napětí 1,2 V. Některé přístroje totiž vyžadují baterie s hodnotou jmenovitého napětí 1,5 V.

2.4 Akumulátory s nízkým samovybíjením [10]

Jde o NiMH akumulátory nové generace. Tyto akumulátory mají menší kapacitu, ale vyznačují se velmi nízkým samovybíjením. Jednou z hlavních výhod je, že tyto akumulátory se prodávají v nabitém stavu.

2.4.1 Pro nás důležité parametry

- **Vnitřní odpor** - těchto NiMH akumulátorů je o něco menší než u klasických NiMH akumulátorů (cca 180 mΩ). Přesto však tyto akumulátory nejsou vhodné pro zařízení, která odebírají velké proudy.
- **Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky** – mají téměř totožné se starší generací NiMH akumulátorů
- **Samovolné vybíjení** – je minimální. Většina výrobců udává, že po půl ročním skladování za pokojové teploty si akumulátor uchová 90% své kapacity a po ročním skladování má akumulátor 85% své kapacity.
- **Paměťový efekt** – není.

2.4.2 Další parametry

Výhody:

- Prodej v nabitém stavu
- Velký rozsah pracovních teplot (-10°C až 50°C)
- Vysoká stabilita i po několika stovkách nabití

Nevýhody:

- Menší kapacita

2.4.3 Požadavky na provoz a kapacitu

Požadavky na jejich provoz a kapacitu jsou totožné jako u klasických akumulátorů NiMH

2.5 Nabíjecí alkalické akumulátory (RAM) [13]

Podobně jako u NiMH akumulátorů se alkalické akumulátory prodávají v nabitém stavu. Hlavní výhodou tohoto elektrochemického systému je však jmenovité napětí článků, které je 1,5 V. Díky tomu se tyto akumulátory používají tam, kde nemůžeme použít NiMH akumulátory kvůli jejich nižšímu jmenovitému napětí. Katoda článků je tvořena slisovanými kroužky kysličníku manganického (MnO_2), nasyceného grafitem. Katoda dále obsahuje přísady umožňující opakované nabití. Anodu tvoří železo, nasycené práškovým zinkem. Mezi elektrodami je separátor z netkané textilie a celofánu.

2.5.1 Pro nás důležité parametry

- **Vnitřní odpor** – alkalických akumulátorů je velký ($0,2 \Omega$ oproti $0,1 \Omega$ u NiCd) a proto se podobně jako Li-Ion akumulátory hodí pro přístroje s malým a středním odběrem proudu.
- **Nabíjecí a vybíjecí charakteristika, viz. Obr. 2.5 a Obr. 2.6** – standardně se nabíjejí ze zdroje s konstantním napětím 1,6 V.
- **Samovolné vybíjení** – je minimální. Výrobci udávají, že po 4 letech skladování dojde k pouze 5 procentnímu úbytku energie
- **Paměťový efekt** – není.

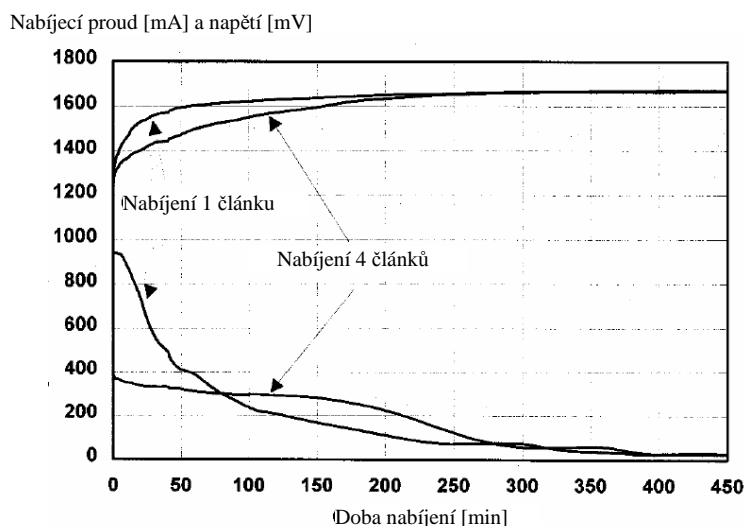
2.5.2 Další parametry

Výhody:

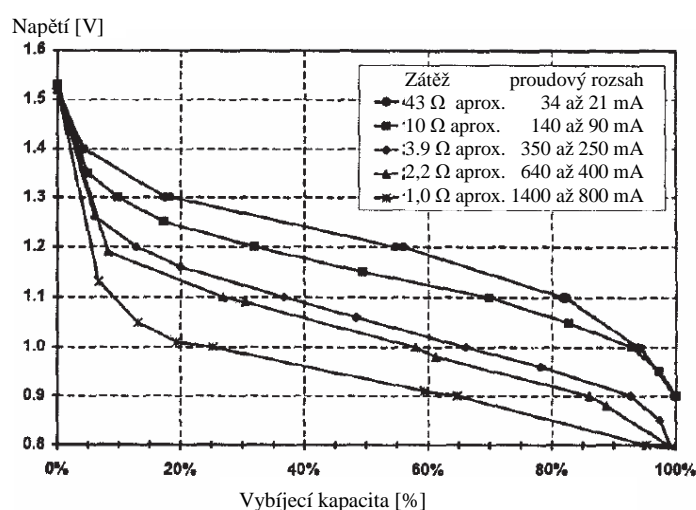
- Jmenovité napětí 1,5 V
- minimální samovybíjení

Nevýhody:

- značná citlivost k hlubokému vybíjení
- menší počet nabíjecích cyklů



Obr. 2.5: Nabíjecí charakteristika RAM akumulátoru; převzato z [14]



Obr. 2.6: Vybíjecí charakteristika RAM akumulátoru převzato z [14]

2.5.3 Požadavky na provoz a kapacitu

Obecně mají RAM akumulátory horší vlastnosti než NiMH akumulátory. Ve zdravotnictví se používají především v holterech, telemetrických jednotkách a všude tam, kde je požadované jmenovité napětí akumulátorů 1,5 V.

2.6 Gelové olověné akumulátory

SLA (Sealed - Lead - Acid) akumulátory jsou bezúdržbové akumulátory, které mají zápornou elektrodu z olova a kladnou elektrodu z kysličníku olova. Elektrolyt má gelovou podobu, která umožňuje provozovat akumulátor v libovolné poloze. Oproti obyčejným olověným akumulátorům gelové olověné akumulátory již nemají otvory pro dolévání vody, mají větší plochu desek, desky se tolik nedrolí a není tedy zapotřebí pod deskami záchytného místa na kal.

2.6.1 Pro nás důležité parametry

- **Vnitřní odpor** gelových olověných akumulátorů je velmi malý (řádově $m\Omega$). Díky tomu jsou schopny tyto akumulátory krátkodobě dodávat velmi vysoké proudy (až desetinásobek své kapacity).
- **Nabíjecí a vybíjecí charakteristika, viz. Obr. 2.7 Obr. 2.8** – nabíjecí charakteristika se liší podle toho, jakým způsobem budeme akumulátory nabíjet. Nejčastěji se používají metody nabíjení konstantním proudem (jednostupňové a víceúrovňové), nabíjení konstantním napětím, popřípadě kombinované nabíjecí metody.
- **Samovolné vybíjení** – je velmi malé. První tři dny po nabití akumulátoru si akumulátor drží 100% své kapacity.
- **Paměťový efekt** – není.

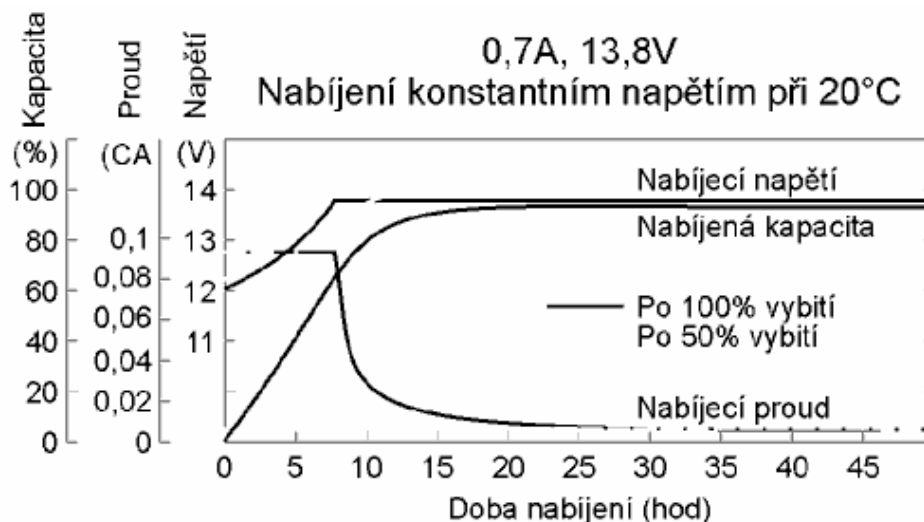
2.6.2 Další parametry

Výhody:

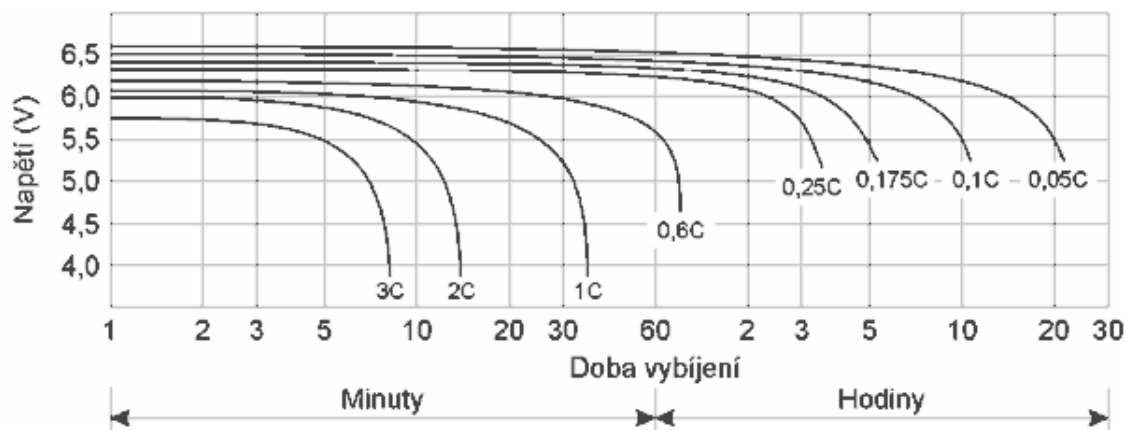
- vysoká kapacita
- dlouhá životnost (cca 10 let)
- nízké samovybíjení

Nevýhody:

- vysoká hmotnost
- větší rozměry
- ekologicky nešetrné (olovo)



Obr. 2.7: Nabíjecí charakteristika gelového olověného článku; převzato z [6]



Obr. 2.8: Vybíjecí charakteristika gelového olověného článku; převzato z [6]

2.6.3 Požadavky na provoz a kapacitu

Tyto akumulátory se používají ve velkém množství aplikací s různými požadavky na akumulátory.

Gelové olověné akumulátory se používají především jako záložní zdroje. Proto se u těchto akumulátorů požaduje dlouhá doba životnosti, velká kapacita, možnost uchovávat tyto akumulátory v nabitěm stavu a co nejmenší samovybití. Z těchto akumulátorů jsou odebírány jen malé a střední proudy, proto oproti klasickým startovacím akumulátorům nemusí mít tak malý vnitřní odpor.

Gelové olověné akumulátory se ve zdravotnictví používají také k napájení invalidních vozíků, vanových zvedáků, či operačních stolů. U gelových olověných akumulátorů pro tyto účely se neklade takový důraz na životnost a bezúdržbovost akumulátorů. Místo toho se požaduje hlavně vysoká kapacita, a velký počet nabíjecích cyklů.

S těmito akumulátory se můžeme setkat i u defibrilátorů. Toto použití klade oproti předchozím aplikacím vysoký důraz na schopnost akumulátoru dodat velký proud. Dále také požaduje dlouhou životnost a co nejmenší samovybití.

2.7 Li-Ion akumulátory

Patří k nejnovějším inovacím baterií z hlediska elektrochemického systému. V praxi se dnes setkáváme se dvěma typy těchto akumulátorů. Oba typy mají katodu tvořenou lithiem s oxidem kovu, elektrolyt tvořen solí lithia v organickém roztoku a anodu z grafitu. Jeden typ má však grafitovou elektrodu ve formě mikrokrystalického uhlíku a druhý typ ve formě grafitu.

2.7.1 Pro nás důležité parametry

- **Vnitřní odpor** – mají největší ze všech popisovaných elektrochemických typů akumulátorů (300 mΩ). Li-Ion akumulátory se proto hodí pro přístroje s malým a středním odběrem proudu.
- **Nabíjecí a vybíjecí charakteristika, viz. Obr. 2.9 Obr. 2.10** – standardně se nabíjejí ze zdroje napětí s omezením proudu. Nabíjení je tedy podobné jako u bezúdržbových olověných akumulátorů.
- **Samovolné vybíjení** – je malé a patří k jedné z hlavních předností těchto akumulátorů.

- **Paměťový efekt** – není.
- **Objemová hustota energie** - ze všech popisovaných elektrochemických systémů mají Li-Ion akumulátory objemovou hustotu největší.

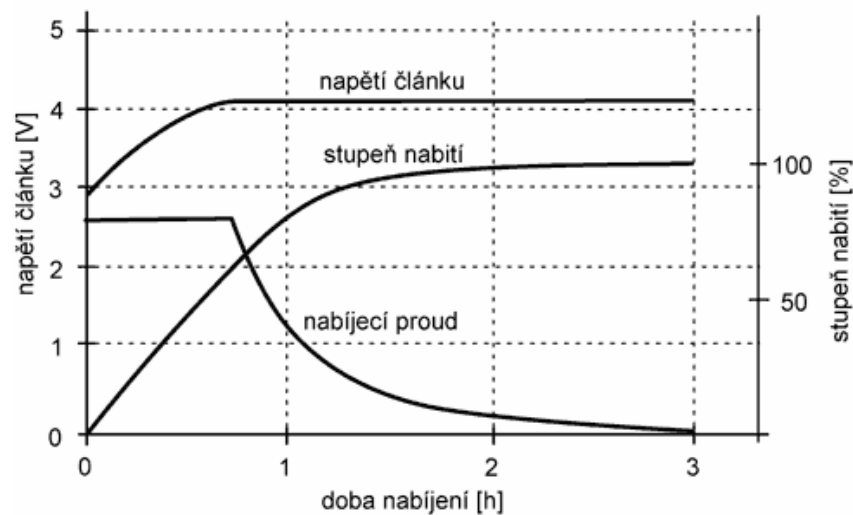
2.7.2 Další parametry

Výhody:

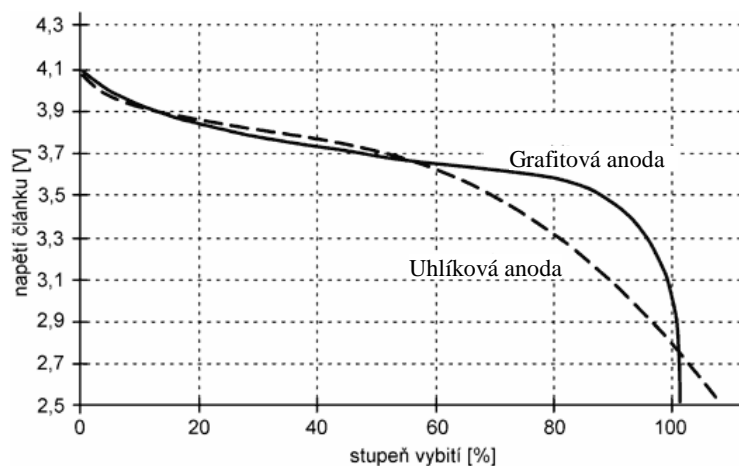
- nízká hmotnost
- nízké samovybíjení

Nevýhody:

- značná citlivost k přebíjení a nedostatečnému nabití
- z uvedených elektrochemických systémů jsou nejdražší
- opakované hluboké vybíjení vede ke ztrátě kapacity



Obr. 2.9: Nabíjecí charakteristika Li-Ion článku; převzato z [11]



Obr. 2.10: Vybíjecí charakteristika Li-Ion článku; převzato z [11]

2.7.3 Požadavky na provoz a kapacitu

Li-Ion akumulátory se spolu NiMH akumulátory řadí k nejčastěji používaným akumulátorům ve zdravotnictví. Díky své velké objemové hustotě a nízké hmotnosti našly využití hlavně jako napájecí zdroje v přenosných zařízeních, v náhradách lidských končetin, či v defibrilátorech. Dalším zařízením, ve kterém se Li-ion akumulátory používají, jsou mobilní telefony.

Akumulátory s tímto elektrochemickým systémem se také velmi často využívají jako záložní zdroje. V těchto aplikacích se požaduje hlavně nízké samovybíjení.

3 Rozpoznání stavu nabití akumulátoru

V této kapitole jsou nejprve popsány obecné metody rozpoznání stavu nabití akumulátoru. Poté je u jednotlivých elektrochemických systémů popis nabíjení.

3.1 Druhy nabíjení:

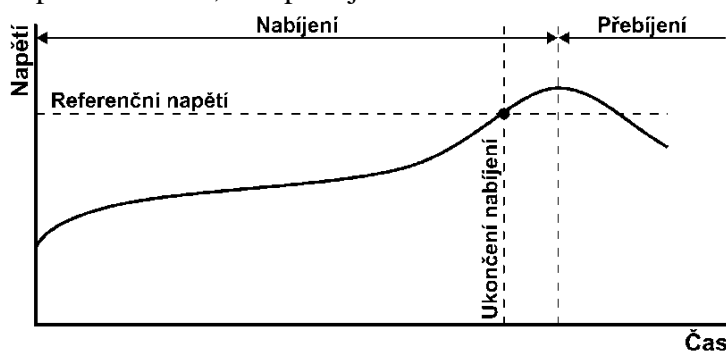
Při popisu nabíječek, či způsobů nabíjení se setkáváme s několika pojmy, které sice nejsou používány jednotně, ale i tak je vhodné je uvést a blíže vysvětlit [7]:

- **Standardní nabíjení (Overnight Charge)** - nabíjení proudem $0.1C$ po dobu 12 až 16 hodin.
- **Zrychlené nabíjení (Quick Charge)** - nabíjení proudem $0.2C$ až $0,6C$ po dobu 3 až 9 hodin.
- **Rychlé nabíjení (Fast Charge)**- nabíjení proudem $1C$ a více. Baterie je nabita za 1 hodinu či dříve.
- **Koncové dobíjení (Top off Charge)** – po ukončení rychlého nabíjení doplní kapacitu baterie.
- **Udržovací (kapkové) nabíjení (Constant Trickle)** – nahrazuje úbytek kapacity samovybíjením. Používá se především u zálohových akumulátorů. Někdy se používá místo koncového dobíjení po skončení rychlého nabíjení.

3.2 Metody ukončení nabíjení [8]:

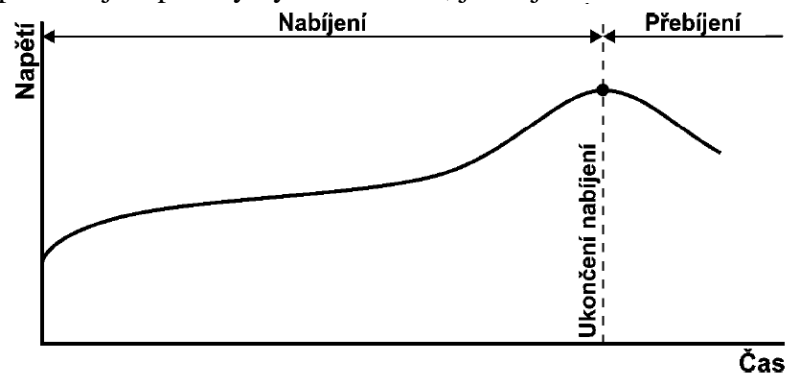
Metod pro rozpoznání stavu nabití článku je velké množství a zakládají se na různých fyzikálních principech. Nejčastěji používané metody jsou:

- **Časové metody** - nabíjení se ukončí po uplynutí stanoveného času. Na tomto principu pracují zejména nejjednodušší nabíječky. Tato metoda není příliš vhodná, protože často dochází k přebíjení akumulátorů a u některých typů akumulátorů k vytváření paměťového efektu. Doporučené nabíjecí proudy jsou do $2C$. U dražších nabíječek se tato metoda používá jen jako ochrana baterií.
- **Napětové metody:**
 - **Předem stanovené napětí** – Nabíjení je ukončeno po dosažení předem stanoveného napětí. Nevýhodou této metody je závislost napětí akumulátoru na nabíjecím proudu, teplotě (Nernstova rovnice) a stáří. Díky tomu často dochází k neúplnému nabití, či k přebíjení akumulátorů.



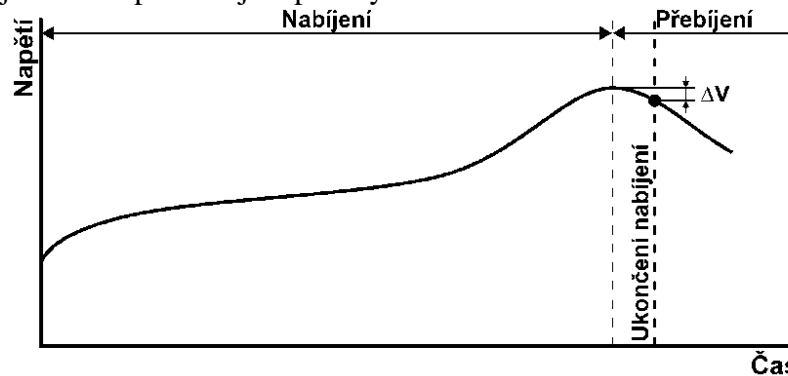
Obr. 3.1: Ukončení nabíjení při dosažení stanoveného napětí; převzato z [9]

- $\Delta U/\Delta t = 0$ – nabíjení je ukončeno při dosažení maximálního napětí. Vhodné pro nabíjecí proudy vyšší než 0.5C, jinak je stanovení maxima obtížné.



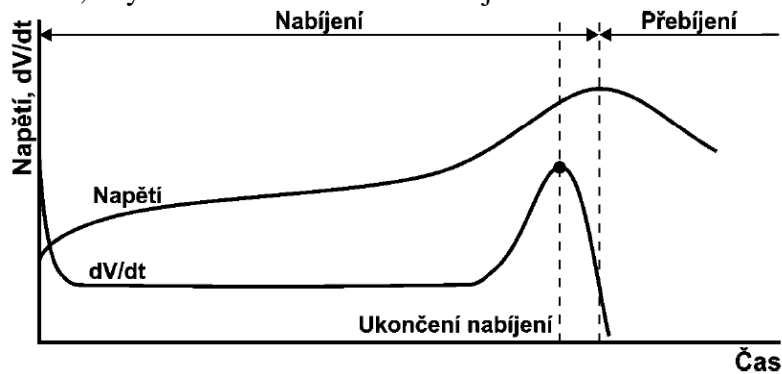
Obr. 3.2: Ukončení nabíjení při dosažení maximálního napětí; převzato z [9]

- $\Delta U/\Delta t < 0$ – nabíjení je ukončeno pokud napětí na akumulátoru začne klesat. U NiCd akumulátorů je tento pokles 10mV/článek, u NiMH 5mV/článek. Metoda je vhodná pro nabíjecí proudy od 0.5C až 2C.



Obr. 3.3: Ukončení nabíjení při poklesu napětí; převzato z [9]

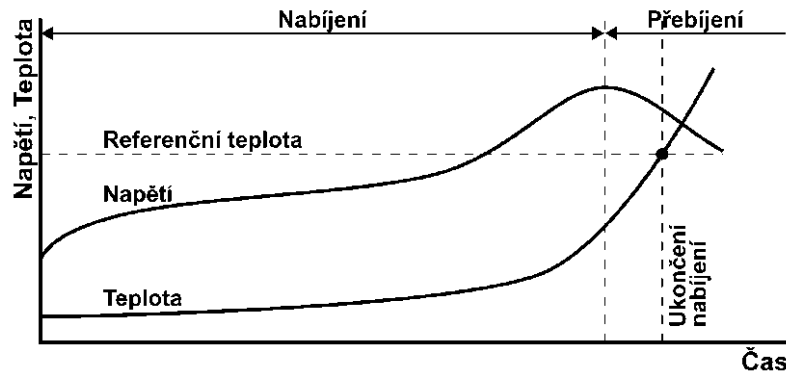
- d^2U/dt^2 – tato metoda je založená na sledování druhé derivace napětí v čase. Nabíječ zastaví nabíjení v okamžiku zaznamenání napěťové derivační špičky. Tato metoda zvyšuje životnost akumulátorů, protože nedochází k jejich přebíjení. Zároveň však nevyužívá maximální kapacitu akumulátoru. Proto je vhodné, aby následovalo koncové dobíjení.



Obr. 3.4: Ukončení nabíjení při dosažení napěťové derivační špičky; převzato z [9]

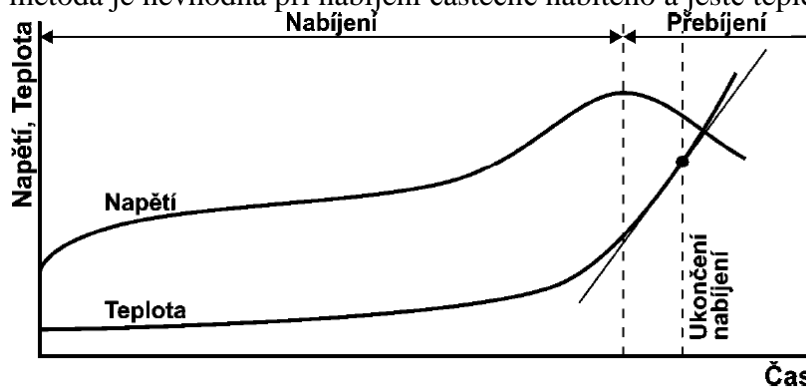
- **Teplotní metody:**

- **Předem stanovená teplota** – nabíjení je ukončeno při dosažení předem stanovené teploty akumulátoru. Při nízkých teplotách akumulátoru dochází ke zbytečnému přebíjení, při teplotách vyšších se akumulátor nenabije na plnou kapacitu. Tato metoda se nejčastěji používá jen jako ochrana akumulátorů a hlídá zda jsou akumulátory v teplotním rozsahu vhodném pro nabíjení.



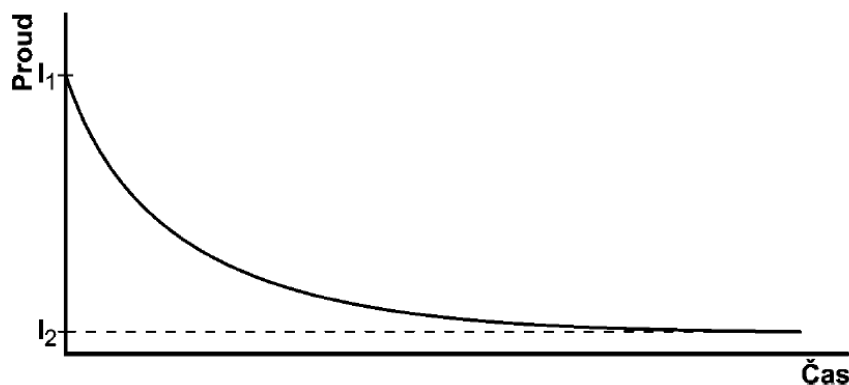
Obr. 3.5: Ukončení nabíjení při dosažení předem stanovené teploty; převzato z [9]

- **dT/dt** – nabíjení je ukončeno, když změna teploty je okolo 0.75 °C/min. Tato metoda je nevhodná při nabíjení částečně nabitého a ještě teplého akumulátoru.



Obr. 3.6: Ukončení nabíjení při dosažení určitého náklonu teplotní křivky; převzato z [9]

Proudová metoda – nabíjení je ukončeno při poklesu proudu na předem stanovenou mez. Tato metoda se používá pro nabíjení olověných akumulátorů a RAM akumulátorů.

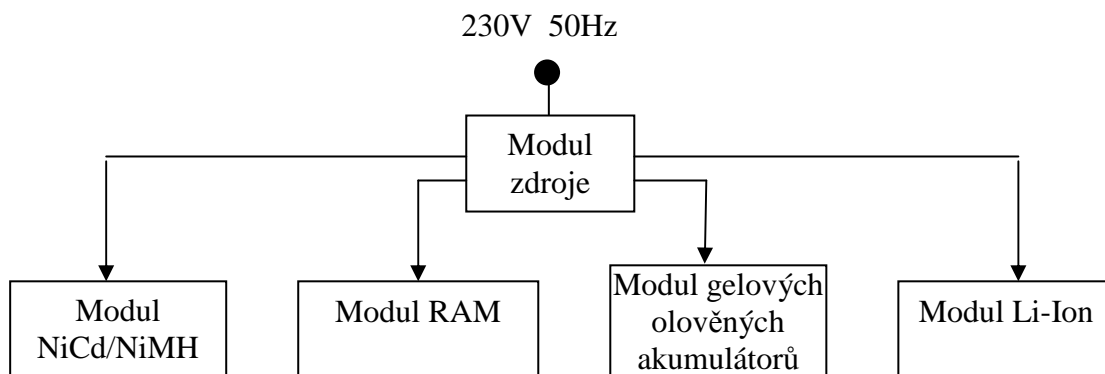


Obr. 3.7: Ukončení nabíjení při dosažení stanoveného proudu; převzato z [9]

- **CCS metoda** - jedná se o patentovaný Computer Charge Systém neboli zkráceně CCS. CCS čip zjišťuje z časového průběhu napětí článků a nabíjecího proudu charakteristický parametr. Toto měření odráží průběh nabíjecího procesu uvnitř článku a dává přesnou hodnotu při dosažení plného nabití, která se výborně hodí po zjištění údajů daných výrobcem k určení vypínacích bodů
- **EGM metoda** - elektrodově specifický nabíjecí systém, taktéž patentovaný, zpracovává potenciálové signály elektrod akumulátoru a získává z toho informace o stavu akumulátoru. Výrobce tohoto čipu je Accu-Power, Graz.
- **CCCV metoda** - se používá při nabíjení lithiových akumulátorů. Akumulátor se nabíjí konstantním proudem až do doby, kdy dosáhne předem stanoveného napětí (většinou 4,2 V), poté přechází na nabíjení konstantním napětím. Nabíjení se ukončí, pokud nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu.
- **Metoda měření vnitřního tlaku článku** – tato metoda hlídá vnitřní napětí článku a nabíjecí proces se ukončí při dosažení daného vnitřního tlaku. Při této metodě se články nabíjí na 100% kapacity a nedochází k jejich přebíjení. Tuto metodu je možné použít pouze u Li-ion baterií. V praxi se však tato metoda nepoužívá.
- **Rychlonabíjení** – při tomto způsobu nabíjení akumulátorů nabíječky kromě hlavního parametru pro rozpoznání nabití akumulátoru sledují i maximální nabíjecí čas a teplotu akumulátoru. Pokud teplota akumulátoru překročí stanovenou mez, dojde k zahájení chlazení akumulátorů vestavěnými ventilátory, popřípadě je rychlé nabíjení ukončeno a je zahájeno koncové dobíjení.

4 Návrh a realizace automatického nabíječe

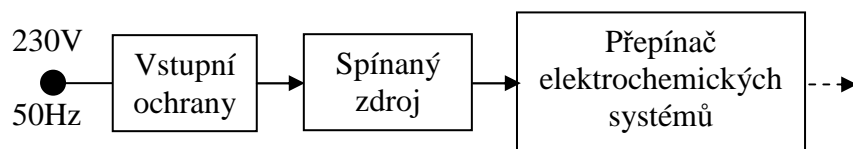
Úkolem této diplomové práce je návrh koncepce automatického nabíječe pro zdravotnické přístroje. Navržený nabíječ je rozdělen na několik samostatných modulů, které zvyšují přehlednost návrhu a umožňují jeho snadnou modifikaci.



Obr. 4.1: Blokové schéma automatického nabíječe

4.1 Modul zdroje

Tento modul se skládá ze tří celků, které mají za úkol upravit síťové napětí na potřebnou hodnotu a vybírají, jaký typ elektrochemického systému bude nabíjen. Blokové schéma tohoto modulu je na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Blokové schéma modulu zdroje

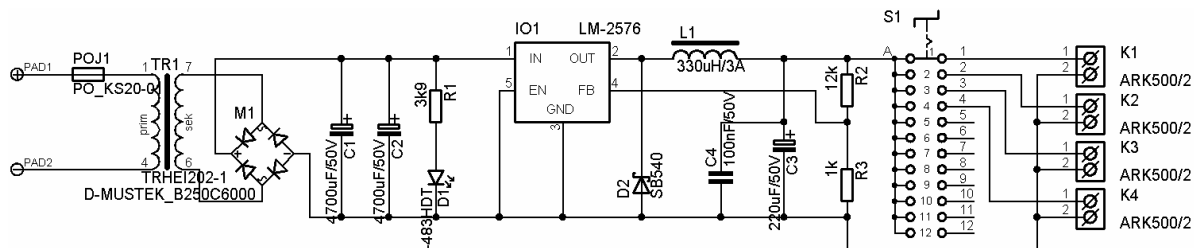
Vstupní ochrany – vstup nabíječky je se síťovým napětím spojen pomocí konektoru FEH51106, jehož součástí je pojistkové pouzdro a síťový filtr. Pro pokrytí spotřeby nabíječky stačí pojistka 1A. Síťový filtr se připojuje na vstup, aby byla dodržena elektromagnetická kompatibilita. Vzhledem k tomu, že nabíječka bude pracovat v medicínském prostředí, je přítomnost síťového filtru v zařízení vhodná.

Spínaný zdroj – slouží k úpravě velikosti vstupního napětí a proudu. Základem je toroidní transformátor a integrovaný obvod LM2576HV-ADJ.

Přepínač elektrochemických systémů – slouží pro zvolení elektrochemického systému, který se bude nabíjet. Přepínání je realizováno pomocí spínače P-DS1B. U tohoto otočného přepínače jde pomocí zarážky nastavit až 12 poloh přepínání. Je proto třeba u něj nastavit zarážku na 4 polohy přepínání.

4.1.1 Popis konstrukce spínaného zdroje

A nyní samotný návrh. Na obr. 4.3 je schéma spínaného zdroje, které bude postupně popsáno.



Obr. 4.3: Schéma spínaného zdroje

- **Sít'ová část** – Zdroj je napájen ze sít'ového napětí 230 V, které je přes vstupní ochrany přivedeno na toroidní transformátor s jedním sekundárním vynutím 1x 29 V AC (50 VA). Vybraný model má rozměry 75 x 41 mm a váhu 0,7 kg. Toroidní transformátor je vybrán, protože má lepší vlastnosti než transformátory typu EI. Mezi lepší vlastnosti patří mimo jiné menší rozměry a hmotnost, nízký rozptyl magnetického pole a nízká úroveň šumu.
- **Vstupní část spínaného zdroje** – je tvořena běžným diodovým dvoucestným můstkovým usměřovačem B250C6000DR a filtračním kondenzátorem. Při volbě filtračního kondenzátoru je nutné brát v úvahu na jaké napětí a proudy bude použit.

Výpočet hodnoty filtračního kondenzátoru C_1 :

$$C_1 = \frac{K \cdot I_{out}}{p \cdot U_{ss}} = \frac{3000 \cdot 4,9}{0,05 \cdot 40} = 7350 \mu F \quad (1)$$

Kde K – je konstanta pro dvoucestný usměřovač
 p – je požadované zvlnění

Jde o velký kondenzátor, proto jsou tedy zvoleny dva elektrolytické kondenzátory $C_1 = C_2 = 4700 \mu F / 50 V$. Hodnota těchto kondenzátorů je v součtu o něco vyšší než vypočítaná hodnota, takže i filtrování je lepší.

- **Indikace zapnutí zdroje** – je realizována pomocí LED diody L-483HDT, která je zapojena přes rezistor R_1 . Napětí na diodě je $U_F = 2,2 V$ a proud procházející diodou je $I_F = 10 mA$.

Výpočet hodnoty rezistoru R_1 :

$$R_1 = \frac{U_0 - U_F}{I_F} = \frac{40 - 2,2}{0,01} = 3780 \Omega \quad (2)$$

Tato hodnota nemusí být zvolena přesně, protože rezistor ovlivňuje pouze intenzitu svícení LED diody. Volíme tedy hodnotu rezistoru $R_1 = 3,9 k\Omega$.

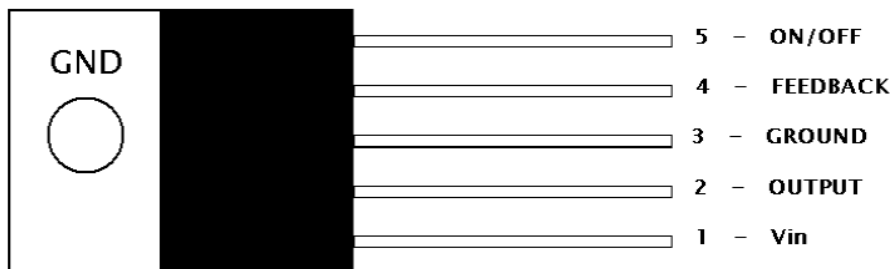
je nutné brát v úvahu i ztrátový výkon na rezistoru:

$$P = I^2 \cdot R_1 = 0,01^2 \cdot 3900 = 0,39 W \quad (3)$$

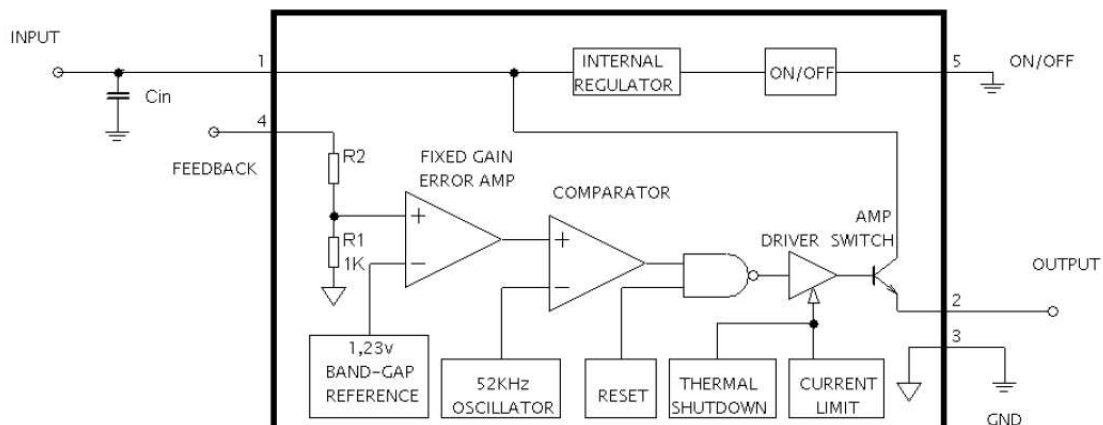
Je tedy nutné vybrat rezistor se ztrátovým výkonem do 0,4 W.

- **Hlavní obvod spínaného zdroje** – Základem je IO₁ LM2576HV-ADJ [15]. Jde o integrovaný obvod, jež je nejčastěji používán jako snižující měnič napětí. Tento obvod je koncipován pro výstupní napětí až 3 A a pro různá výstupní napětí. Jeho výhodou je i to, že v zapojeních nepotřebuje velké množství externích obvodových prvků.

Na obr. 4.5 vidíme vnitřní strukturu LM2576HV-ADJ. tento integrovaný obvod dokáže udržovat stejné výstupní napětí i při změně velikosti vstupního napětí. Toho dosahuje pomocí pulzně šířkové modulace. Na vstup (PIN1) se přivádí stejnosměrné napětí 7 – 60 V, které je usměrněno a vyhlazeno. Konstantní hodnotu výstupního napětí získáme pomocí zpětné vazby, která je přivedena na PIN č. 4.



Obr. 4.4: Pouzdro IO₁ LM2576HV-ADJ s popisem pinů; převzato z [15]



Obr. 4.5: Blokové schéma IO₁ LM2576HV-ADJ; převzato z [15]

Velikost výstupního napětí je určena odporovým děličem tvořeným odpory R_2 a R_3 . Pokud by bylo potřeba nastavit hodnotu výstupního napětí přesně, bylo by vhodné použít místo odporu R_2 trimr, zde však stačí mít hodnotu výstupního napětí přibližnou. Velikost úbytku napětí na odporovém děliči reguluje napětí na pinu č.4 IO₁.

Parametry pro výpočet jednotlivých prvků:

$$U_{in} = 40 \text{ V}$$

$$U_{out} = 20 \text{ V}$$

$$U_{ref} = 1,23 \text{ V}$$

$$I_{out} = 3 \text{ A}$$

$$f = 52 \text{ kHz}$$

Odporový dělič z rezistorů R₂ a R₃:

Tento dělič udává velikost výstupního napětí. Podle katalogových listů je hodnota odporu R₃ = 1 -5 kΩ. Pro nejlepší stabilitu s časem je použita hodnota rezistoru R₃ = 1 kΩ. Díky tomu hodnota rezistoru R₂ bude:

$$R_2 = R_3 \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{REF}} - 1 \right) = 1000 \cdot \left(\frac{16}{1,23} - 1 \right) = 12008 \Omega \quad (4)$$

Kde U_{out} – je hodnota výstupního napětí

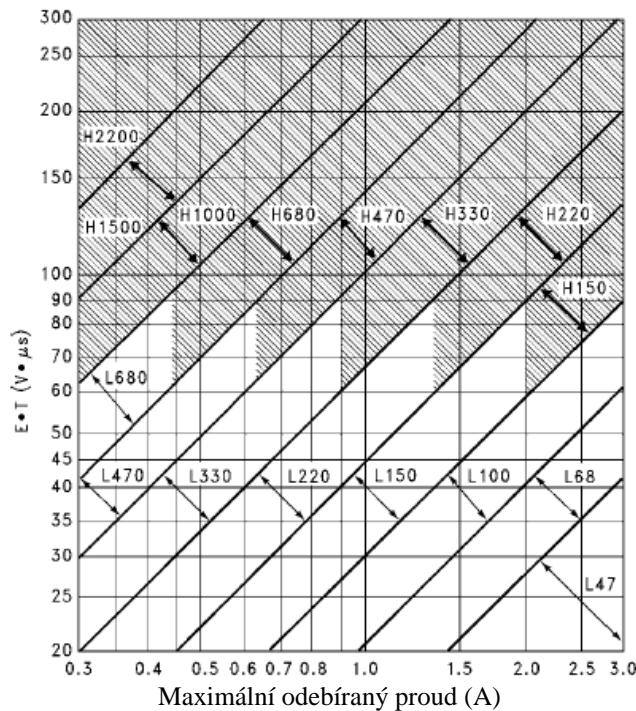
U_{REF} - je hodnota referenčního napětí obvodu IO₁

Není potřeba, aby na výstupu modulu spínaného zdroje bylo napětí přesně 16 V. Je tedy zvolena nejbližší hodnota rezistoru, čili R₂ = 12 kΩ.

Návrh tlumivky L₁:

Zde je potřeba vypočítat konstantu E.T a následně z grafu, který je na obr 4.6 odečíst hodnotu tlumivky.

$$E \cdot T = (U_{in} - U_{out}) \cdot \frac{U_{out}}{U_{in}} \cdot \frac{1000}{f [kHz]} = (40 - 16) \cdot \frac{16}{40} \cdot \frac{1000}{52} = 215 V \mu s \quad (5)$$



Obr. 4.6: Graf závislosti E.T na maximálním výstupním proudu

Z grafu tedy odpovídá hodnota tlumivky L₁ = 330 μH / 3 A.

Výpočet výstupního kondenzátoru C₃:

$$C_3 = 13300 \cdot \frac{U_{in}}{U_{out} \cdot L_1 [\mu H]} = 13300 \cdot \frac{40}{16 \cdot 220} = 101 \mu F \quad (6)$$

Nejmenší možná hodnota výstupního kondenzátoru podle katalogových listů by tedy měla být 101 μF. Tato hodnota je však nedostačující, protože je při ní příliš

veliké zvlnění výstupního napětí. Navíc je důležité (i podle doporučení v katalogových listech), aby měl tento kondenzátor co nejmenší ekvivalentní sériový odpor, proto je třeba zvolit kondenzátor pro vyšší povolené napětí, než je potřeba. Nakonec je zvolena hodnota výstupního kondenzátoru $C_3 = 220 \mu\text{F} / 50 \text{V}$. K tomuto kondenzátoru je navíc připojen ještě keramický kondenzátor $C_4 = 100 \text{nF} / 50 \text{V}$, který má zamezovat pronikání vysokofrekvenční složky do obvodu.

Volba diody D_2 :

Při volbě této diody je nutné vybírat z rychlých diod. Z dostupných diod byla vybrána schottkyho dioda SB540.

Volba vstupního kondenzátoru:

V katalogových listech je ještě uveden vstupní kondenzátor. Protože by však přímo před ním byla zapojena dvojice kondenzátorů C_1 a C_2 , je tento kondenzátor vynechán. Je však důležité, aby zemnicí kontakt jednoho z kondenzátorů spolu s kontaktem schottkyho diody byl zapojen co nejbližší k zemnicí ploše integrovaného obvodu IO_1 .

Návrh chladiče pro IO_1 :

Integrovaný obvod LM2576HV-ADJ je sice vybaven chladicí plochou, která chladí vnitřní zapojení. Protože však pracuje s vyššími proudy je potřeba jej připojit k externímu chladiči. Tepelnou ztrátu vypočítáme pomocí vztahu uvedených v [16].

$$P_D = (U_{in} \cdot I_Q) + \left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right) \cdot (I_{out} \cdot U_{sat}) = (40 \cdot 0,005) + \left(\frac{16}{40}\right) \cdot (3 \cdot 1,4) = 1,88\text{W} \quad (7)$$

kde: $I_Q = 5 \text{mA}$ – saturační proud

$U_{sat} = 1,4 \text{V}$ – saturační napětí

Nyní, když je známá tepelná ztráta integrovaného obvodu můžeme za pomoci dalších hodnot odečtených z katalogových listů LM2576HV-ADJ vypočítat tepelný odpor chladiče [17].

$$R_{tch} = \frac{\Theta_{jmax} - \Theta_{amax}}{P_D} - R_{ti} = \frac{125 - 70}{1,88} - 2 = 27,3 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (8)$$

kde: $\Theta_{jmax} = 125 \text{°C}$ – maximální povolená pracovní teplota IO_1

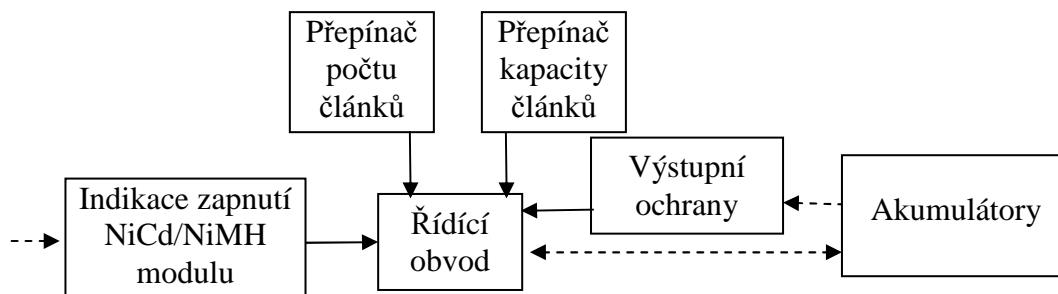
$\Theta_{amax} = 70 \text{°C}$ – maximální povolená teplota okolí

$R_{ti} = 2 \text{°C/W}$ měrný odpor mezi vnitřním systémem IO_1 a jeho pouzdrem

Je tedy potřeba zvolit chladič s maximálním tepelným odporem $27,3 \text{K/W}$. Vybrán byl chladič DO1A, který má tepelný odpor $R_{tch} = 21 \text{K/W}$. Pro dobrý přenos tepla mezi integrovaným obvodem a chladičem je potřeba při montáži použít i teplovodivou pastu.

4.2 Modul NiCd/NiMH

Tento modul má za úkol zajišťovat nabíjení až 8 článků NiCd nebo NiMH. Pro šetrnější nabíjení lze nastavit počet nabíjených článků a jejich celkovou kapacitu.



Obr. 4.7: Blokové schéma modulu nabíjecího NiCd/NiMH

Indikace zapnutí modulu – má uživatele pomocí červené led diody informovat o tom, který z modulů je právě aktivní.

Řídicí obvod – zajišťuje vlastní řízení nabíjení baterie. Tímto obvodem je specializovaný obvod MC33340.

Přepínač počtu článků – ve většině případů se tyto články používají v páru, takže je možné zvolit nabíjení dvou, čtyř, šesti, či osmi akumulátorů zároveň. Tento blok zajišťuje přepínání mezi těmito rozsahy.

Přepínač celkové kapacity akumulátorů – taktéž se používají akumulátory různých kapacit, takže tento blok obsahuje přepínač nabíjecích proudů.

Výstupní ochrany – zahrnují ochranu proti přehřátí v podobě termistoru připevněného k akumulátorům.

4.2.1 Požadavky nabíjení článků NiCd a NiMH

U těchto akumulátorů téměř vždy probíhá nabíjení konstantním proudem. Oba elektrochemické systémy mají velmi podobné průběhy napětí. Proto většina nabíječek je schopna nabíjet oba typy akumulátorů. Pro kontrolu nabíjení je většinou použita kombinace několika metod ukončení nabíjení. Přehled o nejčastějších způsobech nabíjení poskytnete Tab.4.1 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Nabíjení článků NiMH s nízkým samovybíjením je možné v totožných nabíječkách jako klasické NiMH akumulátory.

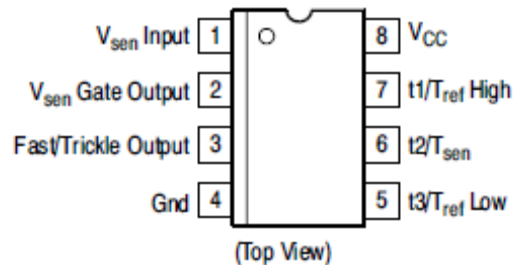
Tab. 4.1: Možnosti nabíjení akumulátorů NiCd a NiMH, převzato z [7]

Způsob	Nabíjecí proud [C]	Doba nabíjení [h]	Doporučená teplota okolí [°C]		Kontrola nabíjení
			NiCd	NiMH	
Udržovací	0,1 NiCd 0,025 NiMH	neomezená	5 až 45	10 až 35	není nutná
Normální	0,05	36 až 48	10 až 35	0 až 45	postačuje časový spínač
	0,1	14 až 20			
Zrychlené	0,2	7 až 9	10 až 35	10 až 45	postačuje časový spínač
	0,25	5 až 7			
	0,33	3 až 5			
Rychlé	1	1,2	10 až 35	10 až 45	nutná
	2	0,6			
	4	0,3			

4.2.2 Zvolený nabíjecí obvod

Pro nabíjení akumulátorů NiCd a NiMH byl zvolen obvod MC33340, který je umístěn v pouzdře DIL-8. Popis pinů můžeme vidět na obr. 4.8. U tohoto obvodu je nutno vybrat, jestli bude hlídána maximální doba nabíjení, či bude hlídána teplota akumulátorů. Byla zvolena možnost sledování teploty akumulátorů.

Tento obvod začíná pracovat po připojení napájecího napětí v režimu rychlého nabíjení. Rychlé nabíjení je indikováno blikáním LED diody D_4 , která bliká cca v 1,5 sekundových intervalech. Při každém bliknutí je rychlé nabíjení přerušeno a obvod MC33340 otestuje jestli je na vstupu U_{sen} napětí v rozmezí 1 V až 2 V. Mimo tento rozsah se napětí na vstupu U_{sen} dostane, pokud je akumulátor vadný, či není vůbec připojený. Zároveň s testováním vstupu U_{sen} je testováno, jestli nedošlo k poklesu napětí na akumulátoru (poprvé testováno po 177 sekundách), což značí jeho nabití, nebo jestli není teplota akumulátoru mimo povolený rozsah. Pokud není jedna z těchto podmínek splněna, obvod přechází do režimu udržovacího nabíjení, což je indikováno stálým svitem LED diody D_4 .



Obr. 4.8: Pouzdro IO₁ MC33340 s popisem pinů; převzato z [20]

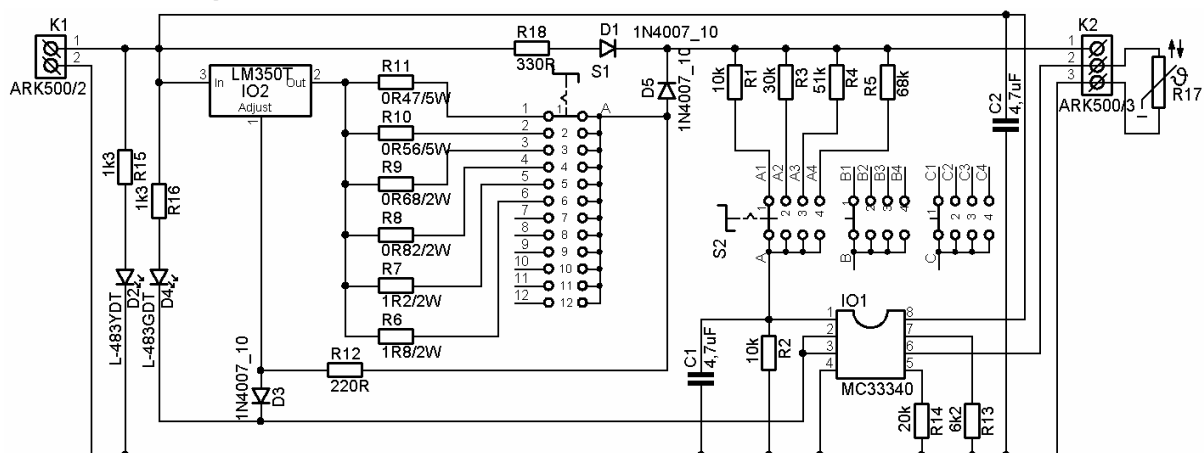
Jeho výhody jsou:

- Primární zjištění nabitého stavu pracuje na principu $-\Delta U$.
- Jako další vypínací kritérium využívá obvod časový nebo teplotní limit.
- Nízká cena.

Jeho nevýhody jsou:

- Nelze zároveň používat vypínání časovým a teplotním limitem.

4.2.3 Popis konstrukce



Obr. 4.9: Schéma modulu, které nabíjí NiCd/NiMH akumulátory

- **Indikace zapnutí modulu a probíhajícího nabíjení akumulátoru** - je realizována pomocí LED diod L-483YDT (modul je zapnut) a L-483GDT, které jsou zapojeny přes rezistor R_{15} a R_{16} . Napětí na diodách je $U_F = 2,2$ V a proud procházející diodou je $I_F = 10$ mA.

Výpočet hodnoty rezistoru R_{10} :

$$R_{15} = \frac{U_0 - U_F}{I_F} = \frac{16 - 2,2}{0,01} = 1380\Omega \quad (9)$$

Tato hodnota nemusí být zvolena přesně, protože rezistory ovlivňují pouze intenzitu svícení LED diod. Je tedy zvolena hodnota pro rezistory $R_{15} = R_{16} = 1,3$ k Ω .

- **Určení vstupního děliče pro snímání napětí** – pro správné rozpoznání nabitých akumulátorů je nutné aby na vstupu U_{sen} bylo napětí odpovídající jednomu akumulátoru. To je pro dva nabíjené akumulátory zajištěno odporovým děličem R_1 a R_2 , pro více článků se pomocí přepínače S_2 zapojí místo rezistoru R_2 rezistory R_3 , R_4 nebo R_5 . Podle katalogového listu mají být hodnoty rezistorů v řádech desítek k Ω . Hodnota rezistoru R_1 byla zvolena 10 k Ω . A hodnota rezistorů R_2 až R_5 vypočítána dle vzorce (10).

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{accu}}{U_{sen}} - 1 \right) = 10000 \cdot \left(\frac{2,4}{1,2} - 1 \right) = 10000\Omega \quad (10)$$

Kde U_{acu} – napětí připojených akumulátorů (1,2V/článek)

U_{sen} – napětí vstupu

Což je i katalogová hodnota, takže hodnota pro rezistory $R_2 = 10$ k Ω . Stejným způsobem byly vypočítány i hodnoty ostatních rezistorů, čili pro 4 nabíjené články je hodnota rezistoru $R_3 = 30$ k Ω , pro 6 nabíjených článků je hodnota rezistoru $R_4 = 51$ k Ω a pro 8 nabíjených článků je hodnota rezistoru $R_5 = 68$ k Ω .

- **Určení maximálního nabíjecího proudu při rychlém nabíjení I_{max}** – Tento proud je potřeba zvolit s ohledem na typ akumulátorů. Standardně to bývá 1 až 2 násobek kapacity akumulátorů. Proud I_{max} je pomocí rezistorů R_6 až R_{11} odstupňován až do kapacity 3 A. Pro vyšší kapacity akumulátorů se volí proud I_{max} . Následující výpočty jsou brány pro I_{max} rovnající se kapacitě nabíjených akumulátorů.

$$R_{11} = \frac{U_{ref}}{I_{max}} = \frac{1,25}{3} = 0,42\Omega \quad (11)$$

Kde U_{ref} – je referenční napětí obvodu IO₂

I_{max} – je maximální nabíjecí proud

Jde opět o výkonově namáhaný rezistor, takže je potřeba vypočítat i jeho výkonové namáhání.

$$P = R_{11} \cdot I_{max}^2 = 0,42 \cdot 3^2 = 3,78W$$

Z katalogových hodnot je tedy zvolena nejbližší vyšší hodnota pro rezistory $R_{11} = 0,47 \Omega / 5$ W, čímž proud I_{max} klesne na hodnotu 2,7 A. Stejným způsobem byly vypočítány i hodnoty ostatních rezistorů R_6 až R_{10} .

- **Určení proudu pro udržovací nabíjení I_{udr}** – Tento proud se volí obvykle jako 1/100 kapacity akumulátoru. Proto je zvolena hodnota 20 mA. V zapojení se tato hodnota určuje pomocí rezistoru R_{18} .

$$R_{18} = \frac{U_{in} - U_{F(D1)} - U_{acu}}{I_{udr}} = \frac{16 - 0,6 - 9,6}{0,02} = 290\Omega \quad (12)$$

Kde U_{in} – je napájecí napětí

$U_{F(D1)}$ – je úbytek napětí na diodě D_1

Tato hodnota nemusí být dodržena přesně. Z katalogových hodnot je proto opět zvolena nejbližší vyšší hodnota pro rezistor $R_{18} = 330 \Omega$.

- **Návrh tepelné ochrany** – je realizován pomocí termistoru NTC640-10k. Ten je připojen k pinu č. 6 (T_{sen}). Teplotní rozsah pro nabíjení NiCd/NiMH článků je 10 až 35 °C. Podle katalogových listů má termistor NTC640-10k při teplotě 10°C odpor 19,87 kΩ a při teplotě 35 °C odpor 6,54 kΩ. Pro nastavení maximální teploty nabíjení se na pin č. 7 ($T_{refHIGH}$) připojí rezistor se stejnou hodnotou odporu jakou má termistor při maximální teplotě. Taktéž pro nastavení minimální teploty nabíjení se k pinu č. 5 (T_{refLOW}) připojí rezistor se stejnou hodnotou odporu jakou má termistor při minimální teplotě nabíjení.
- **Kondenzátory C_1 a C_2** - Kondenzátory C_1 a C_2 jsou zvoleny v souladu s katalogovými listy. Kondenzátor C_1 má za úkol snižovat proudové a napěťové rázy při připojení nabíječky k síťovému napětí, kondenzátor C_2 podobně snižuje proudové a napěťové rázy při připojení akumulátorů.
- **Návrh chladiče pro stabilizátor LM350T** – Tento obvod je vybaven chladičí plochou, která chladí vnitřní zapojení. Protože však pracuje s vyššími proudy je potřeba jej připojit k externímu chladiči.

$$P_D = (U_{in} - U_{out}) I_{max} = (16 - 1,6) \cdot 2,7 = 38,9W \quad (13)$$

Kde U_{out} – výstupní napětí stabilizátoru

U_{in} – napětí na vstupu stabilizátoru

I_{max} – maximální proud

Nyní, když je známá tepelná ztráta integrovaného obvodu lze za pomocí dalších hodnot odečtených z katalogových listů LM350T vypočítat tepelný odpor chladiče [18].

$$R_{tch} = \frac{\Theta_{jmax} - \Theta_{amax}}{P_D} = \frac{150 - 45}{38,9} = 2,7 \frac{K}{W} \quad (14)$$

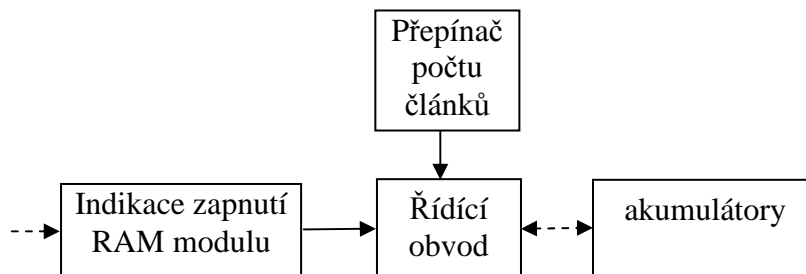
Kde $\Theta_{jmax} = 150 \text{ °C}$ – maximální povolená pracovní teplota stabilizátoru

$\Theta_{amax} = 45 \text{ °C}$ – teplota okolí

Je tedy potřeba zvolit chladič s maximálním tepelným odporem 2,7 K/W. Vybrán byl chladič CHL41A, který má tepelný odpor $R_{tch} = 2,4 \text{ K/W}$. Pro dobrý přenos tepla mezi integrovaným obvodem a chladičem je potřeba při montáži použít i teplovodivou pastu.

4.3 Modul RAM

Tento modul má za úkol zajišťovat nabíjení alkalických akumulátorů. Tyto akumulátory se většinou používají po dvou a ve větším počtu. Proto tento modul dokáže nabíjet až 8 akumulátorů naráz. předpokladem ovšem je, že budou stejného typu a budou přibližně stejně vybity.



Obr. 4.10: Blokové schéma modulu nabíječického RAM akumulátory

Indikace zapnutí modulu – má uživatele pomocí žluté led diody informovat o tom, který z modulů je právě aktivní.

Řídící obvod – zajišťuje vlastní nabíjení akumulátoru. Tímto obvodem je LM350T.

Přepínač počtu článků – přepíná počet nabíjených článků.

Výstupní svorky – Slouží pro propojení desky plošných spojů tohoto modulu a akupacku s bateriemi.

4.3.1 Nabíjení RAM článků

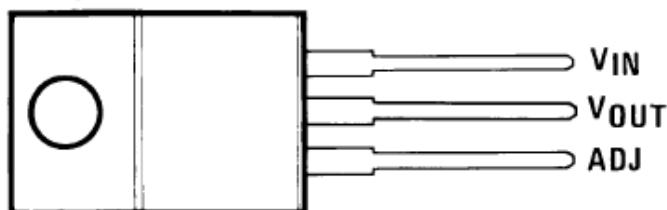
RAM akumulátory se standartně nabíjejí metodou konstantního napětí. Toto napětí je nastaveno na 1,6 až 1,7 V. Při zvolení hodnoty 1,6 V je doba nabíjení delší, ale nabíjení je k baterii šetrnější. Při použití vyššího nabíjecího napětí než 1,7 V dojde ke zkrácení životnosti akumulátoru. Tyto akumulátory nepotřebují mít nastavenou hodnotu napětí tak přesně jako Li-Ion akumulátory, proto lze použít pro jejich nabíjení napěťový stabilizátor.

4.3.2 Zvolený nabíjecí obvod

Z napěťových stabilizátorů je vybrán obvod LM350T, který lze připojit na napětí až 35 V a který je schopen dodávat proud až 3 A. Prodává se v pouzdru TO 220.

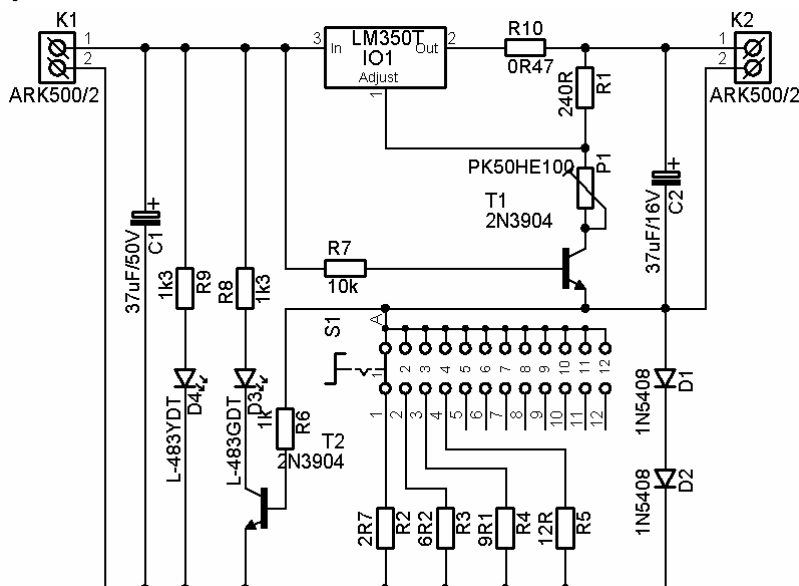
Jeho výhody jsou:

- Nízká cena
- Jednoduchost zapojení
- Vnitřní proudové a teplotní omezení



Obr. 4.11: Pouzdro IO₁ LM350T s popisem pinů; převzato z [18]

4.3.3 Popis konstrukce



Obr. 4.12: Schéma modulu nabíječjího RAM akumulátory

Při připojení napájecího napětí dojde k otevření tranzistoru T_1 . Výstupní napětí stabilizátoru LM350T je nastaveno děličem napětí R_1 a P_1 na 1,6 V. Nabíjecí proud prochází také přes přepínač S_1 , odpory R_2 až R_5 a při vyšších nabíjecích proudech i diodami D_1 a D_2 . Je-li proud dostatečně velký, tak je tranzistor T_2 otevřen a LED dioda D_3 začne svítit. Pokud úbytek napětí na odporech R_2 až R_5 poklesne pod hodnotu 0,6 V dojde k uzavření tranzistoru T_2 .

- **Indikace zapnutí modulu a probíhajícího nabíjení akumulátoru** - je realizována pomocí LED diod L-483YDT (modul je zapnut) a L-483GDT (probíhá nabíjení), které jsou zapojeny přes rezistor R_8 a R_9 . Napětí na diodách je $U_F = 2,2$ V a proud procházející diodou je $I_F = 10$ mA.

Výpočet hodnoty rezistoru R_{10} :

$$R_9 = \frac{U_0 - U_F}{I_F} = \frac{16 - 2,2}{0,01} = 1380\Omega \quad (15)$$

Tato hodnota nemusí být zvolena přesně, protože rezistory ovlivňují pouze intenzitu svícení LED diod. Je tedy zvolena hodnota pro rezistory $R_8 = R_9 = 1,3$ k Ω .

- **Nastavení výstupního napětí** - určena odporovým děličem tvořeným odporem R_1 a trimrem P_1 . Velikost úbytku napětí na odporovém děliči reguluje napětí na pinu č.1 IO_1 . Hodnota odporu R_1 je zvolena $R_1 = 240$ Ω . Hodnota trimru P_1 je vypočítána podle vzorce (16).

$$P_1 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{ref}} - 1 \right) = 240 \cdot \left(\frac{1,6}{1,25} - 1 \right) = 67,2\Omega \quad (16)$$

kde: U_{out} - výstupní napětí stabilizátoru

U_{ref} - referenční napětí obvodu

Z katalogových hodnot byl vybrán trimr PK50HE100.

- **Výpočet rezistorů R₂ až R₅** – pokud je na těchto rezistorech úbytek napětí větší jak 0,6 V dojde k otevření tranzistoru T₂.

$$R_2 = \frac{U_{ot}}{p \cdot I_{min}} = \frac{0,6}{8 \cdot 0,025} = 12\Omega \quad (17)$$

Kde U_{ot} – je prahové napětí pro tranzistor T₁

p – počet nabíjených článků

I_{min} – hranice nabíjecího proudu pro jeden článek

Toto je i katalogová hodnota rezistoru, takže rezistor $R_2 = 12 \Omega$. Hodnoty dalších rezistorů jsou $R_3 = 9,1 \Omega$, $R_4 = 6,2 \Omega$, $R_5 = 2,7 \Omega$.

- **Výpočet rezistoru R₁₀** – tento rezistor udává maximální hodnotu proudu I_{max} , kterým jsou akumulátory nabíjeny. Toto omezení je tu především kvůli ochraně napájecího zdroje, který dokáže dodávat maximální proud 3 A.

$$R_{10} = \frac{U_{ref}}{I_{max}} = \frac{1,25}{3} = 0,41\Omega \quad (18)$$

Kde I_{max} – maximální proud

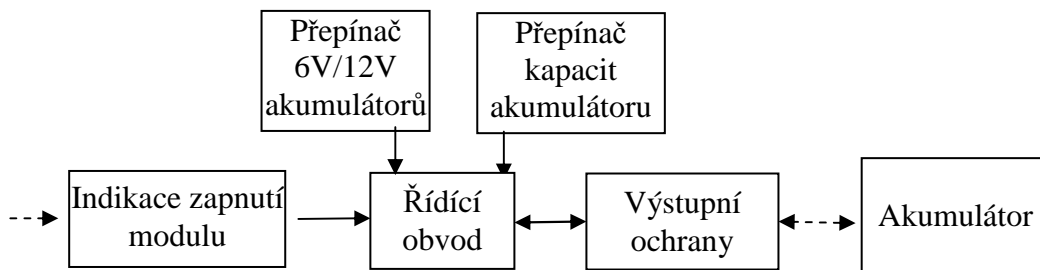
Vybrána tedy byla nejbližší vyšší hodnota rezistoru $R_{10} = 0,47 \Omega$. Díky tomu, že není hodnota tohoto rezistoru přesná, se zmenší maximální nabíjecí proud na hodnotu $I_{max} = 2,7 \text{ A}$

- **Kondenzátory C₁ a C₂** - Kondenzátory C₁ a C₂ jsou zvoleny v souladu s katalogovými listy. Kondenzátor C₁ má za úkol snižovat proudové rázy při připojení nabíječky k síťovému napětí, kondenzátor C₂ podobně snižuje proudové rázy při připojení akumulátorů.

Návrh chladiče pro stabilizátor LM350T – Jde prakticky o stejné teplotní namáhání jako v modulu, který nabíjí NiCd/NiMH akumulátory. Proto i zde je potřeba zvolit chladič s maximálním tepelným odporem 2,7 K/W. Vybrán byl chladič CHL41A, který má tepelný odpor $R_{tch} = 2,4 \text{ K/W}$. Pro dobrý přenos tepla mezi integrovaným obvodem a chladičem je potřeba při montáži použít i teplovodivou pastu.

4.4 Modul gelových olověných akumulátorů

Tento modul má za úkol zajišťovat nabíjení gelových olověných akumulátorů. Blokové schéma tohoto modulu je na obr. 4.13.



Obr. 4.13: Blokové schéma modulu nabíjecího gelové olověné baterie

Indikace zapnutí modulu – má uživatele pomocí červené led diody informovat o tom, který z modulů je právě aktivní.

Řídicí obvod – zajišťuje vlastní řízení nabíjení baterie. Tímto obvodem je specializovaný obvod UC3906.

Přepínač 6V/12V – ve zdravotnictví se používají gelové olověné akumulátory s napětím 6 V a 12 V. Tento blok zajišťuje přepínání mezi těmito rozsahy.

Přepínač kapacity akumulátoru – taktéž se používají akumulátory různých kapacit, takže tento blok obsahuje přepínač nabíjecích proudů.

Výstupní ochrany – zahrnují ochranu proti přepólování v podobě tavné pojistky.

4.4.1 Nabíjení článků gelových olověných akumulátorů

Při nabíjení těchto akumulátorů jsou nejčastěji používány tři způsoby nabíjení.

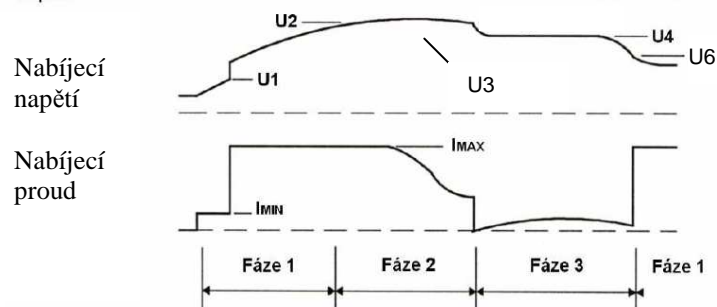
- **Nabíjení konstantním napětím** - jehož hodnota se nastavuje na „plynovací napětí“ akumulátoru, tedy na cca 13,4 V až 13,8 V (2,3 V / článek). Po připojení nabíječky začne nabíjení velmi vysokým proudem. Tento proud bývá nabíječkou omezen na 2 C. Jak se napětí akumulátoru při nabíjení zvyšuje, klesá dobíjecí proud. Konečný nabíjecí proud dosahuje asi 0,002 C. Na tomto principu funguje dobíjení především v automobilech.
- **Nabíjení konstantním proudem (jednostupňové nabíjení)** – baterie je nabíjena proudem, který představuje 0,1 C akumulátoru. Nabíjení se ukončí pokud napětí na baterii dosáhne hodnoty 13,8V (platí pro 12 V gelové olověné baterie). Akumulátor je touto metodou nabitý za 13 až 14 hodin.
- **Nabíjení konstantním proudem (vícestupňové nabíjení)** - je pro akumulátor příznivější. Většinou jsou nabíječky konstruovány v dvoustupňovém provedení. V první fázi se akumulátor nabíjí proudem 0,12 C. Po dosažení napětí 12,6 V (platí pro 12 V gelové olověné baterie) přechází nabíjení do druhé fáze, kdy je akumulátor nabíjen proudem 0,06 C. Vícestupňové nabíjení je šetrnější k akumulátorům a prodlužuje jejich životnost.

4.4.2 Zvolený nabíjecí obvod

Pro nabíjení gelových olověných baterií je zvolen obvod UC3906, jež je umístěn v precizní patici DIL16. Tento obvod dokáže měřit proud, který teče do baterie a na základě toho řídit nabíjení. Tento obvod má tři fáze nabíjení, viz obr. 4.14.

Jeho výhody jsou:

- nabíjení má tři fáze
- kontrola maximální kapacity a životnosti baterie
- kontrola napětí a proudu na výstupu nabíječky



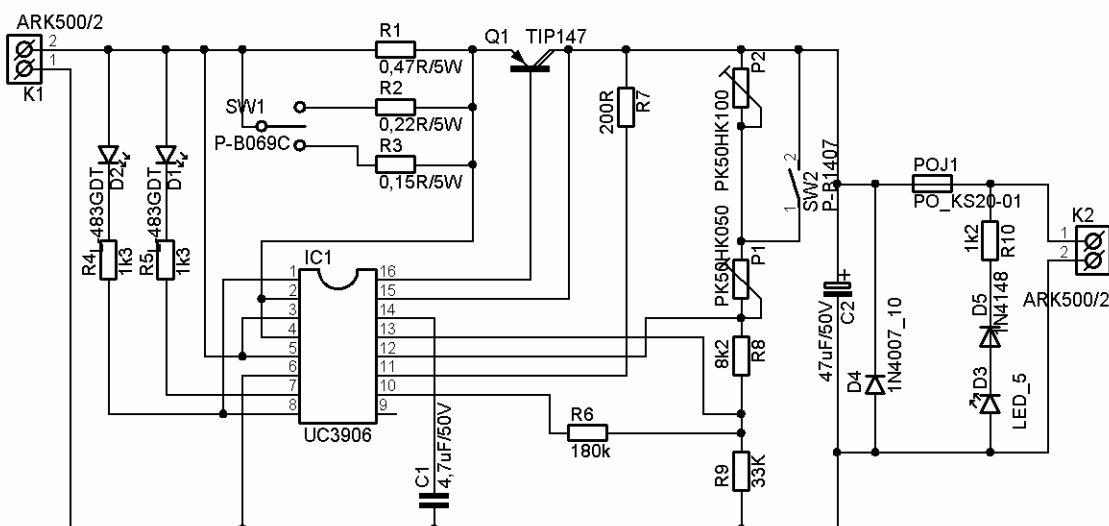
Obr. 4.14: Průběhy napětí a proudu v jednotlivých fázích nabíjení

I. fáze (Nabíjení konstantním proudem)– Nabíjecí proces začíná přezkoušením akumulátoru. Pokud je akumulátor hluboce vybit, začíná nabíjení malým proudem kolem 25 mA , které trvá dokud napětí akumulátoru nedosáhne úrovně U_1 . To je zároveň i testem nezávadnosti jednotlivých článků akumulátoru. V případě závady na některém z nich by se tohoto napětí nedosáhlo a nabíjení by se ukončilo. Od dosažení napětí U_1 do hodnoty napětí U_2 je akumulátor nabíjen konstantním proudem, který má hodnotu 0,1 C. Poté nabíjení přechází do další fáze.

II. fáze (Nabíjení konstantním napětím) - Nyní zaznamenáme postupné snižování nabíjecího proudu, jakmile dosáhne jeho hodnota jedné desetiny I_{max} , je nabíjení automaticky ukončeno. Nastává třetí fáze nabíjení.

III. fáze (Vyrovnávání samovolného vybíjení) – V této fázi se akumulátor dobíjí proudem stejně velkým, jako vybíjecí proud a udržuje se konstantní hodnota napětí na akumulátoru (U_4). Při poklesu hodnoty napětí pod hranici U_5 je nabíjecí cyklus zahájen znovu od I. fáze.

4.4.3 Popis konstrukce



Obr. 4.15: Schéma modulu, který nabíjí gelové olověné baterie

- **Indikace zapnutí modulu a probíhajícího nabíjení akumulátoru** - je realizována pomocí LED diod L-483YDT (modul je zapnut) a L-483GDT (probíhá nabíjení), které jsou zapojeny přes rezistor R_5 a R_4 . Napětí na diodách je $U_F = 2,2$ V a proud procházející diodou je $I_F = 10$ mA.

Výpočet hodnoty rezistoru R_5 :

$$R_5 = \frac{U_0 - U_F}{I_F} = \frac{16 - 2,2}{0,01} = 1380\Omega \quad (19)$$

Tato hodnota nemusí být zvolena přesně, protože rezistory ovlivňují pouze intenzitu svícení LED diod. Volíme tedy hodnotu pro rezistory $R_5 = R_6 = 1,3 \text{ k}\Omega$.

- **Výpočet řídicích rezistorů** - Výpočty vychází z katalogových listů [17].

Nejprve se podle katalogu zvolí proud I_D tekoucí přes rezistor R_9 z rozsahu 50 až 100 μA .

$$R_9 = \frac{U_{ref}}{I_D} = \frac{2,3}{0,00007} = 32,86\text{k}\Omega \quad (20)$$

Kde U_{ref} - je referenční napětí uvnitř IO_1 .

Hodnota tohoto rezistoru nemusí být přesně 32,86 $\text{k}\Omega$. Volíme tedy nejbližší katalogovou hodnotu pro rezistor $R_9 = 33 \text{ k}\Omega$.

Rezistor R_{SUM} - Tyto hodnoty budou použity v dalších vzorcích

$$R_{SUM12} = \frac{U_F - U_{ref}}{I_D} = \frac{12 - 2,3}{0,00007} = 138,6\text{k}\Omega \quad (21)$$

$$R_{SUM6} = \frac{U_F - U_{ref}}{I_D} = \frac{6 - 2,3}{0,00007} = 52,9\text{k}\Omega \quad (22)$$

Kde U_F - je jmenovité napětí nabitého akumulátoru.

Rezistor R_6 - udává maximální velikost napětí, kterou bude akumulátor nabíjen během druhé fáze.

$$R_{6-12} = \frac{U_{ref} \cdot R_{SUM12}}{U_{OC} - U_F} = \frac{2,3 \cdot 138600}{13,7 - 12} = 187,5\text{k}\Omega \quad (23)$$

$$R_{6-6} = \frac{U_{ref} \cdot R_{SUM6}}{U_{OC} - U_F} = \frac{2,3 \cdot 52900}{6,8 - 5,3} = 172,1\text{k}\Omega \quad (24)$$

Kde U_{OC} - je plynovací napětí akumulátorů.

Tyto hodnoty jsou podobné, čili pro oba typy akumulátorů je použit rezistor $R_6 = 180 \text{ k}\Omega$.

Rezistor R_X - Tato hodnota bude použita v dalších vzorcích.

$$R_X = \frac{R_9 \cdot R_6}{R_9 + R_6} = \frac{33000 \cdot 180000}{33000 + 180000} = 27,9\text{k}\Omega \quad (25)$$

Trimry P₁, P₂ odpovídají v katalogových listech rezistoru R_A, který je rozdílný pro šestivoltové i dvanáctivoltové baterie.

$$R_{A12} = (R_{SUM12} + R_X) \cdot \left(1 - \frac{U_F}{U_T}\right) = (138600 + 27887) \cdot \left(1 - \frac{2,3}{10,5}\right) = 130k\Omega \quad (26)$$

$$R_{A6} = (R_{SUM6} + R_X) \cdot \left(1 - \frac{U_F}{U_T}\right) = (52900 + 27887) \cdot \left(1 - \frac{2,3}{5,3}\right) = 45,7k\Omega \quad (27)$$

Rezistor R_{A6} je realizován trimrem P₁ (PK50HK050) a sepnutým spínačem SW₂. A rezistor R_{A12} je realizován sériovou kombinací trimrů P₁ (PK50HK050) a P₂ (PK50HK100).

Rezistor R₈:

$$R_{8-12} = R_{SUM12} - R_{A12} = 138600 - 130000 = 8,6k\Omega \quad (28)$$

$$R_{8-6} = R_{SUM6} - R_{A6} = 52900 - 45700 = 7,6k\Omega \quad (29)$$

Tyto hodnoty jsou podobné, čili pro oba typy akumulátorů je použit rezistor R₈ = 8,2 kΩ.

Rezistory R₁, R₂ a R₃ spolu s přepínačem SW₁ určují velikost proudu I_{MAX}. Proud I_{MAX} určuje maximální proud, kterým se nabíjí akumulátory. Ten by měl být 0,1 kapacity akumulátoru. Proto pomocí odporů R₁, R₂ a R₃ a přepínače SW₁ lze přepínat rozsahy I_{MAX} = 0,5 A, 1,5 A a 2,5 A.

$$R_1 = \frac{0,25}{I_{MAX}} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5\Omega \quad (30)$$

Volíme tedy nejbližší vyšší hodnotu pro rezistor R₁ = 0,56 Ω. Díky tomu bude hodnota proudu I_{MAX} o něco nižší.

Pomocí stejného vzorce vypočítáme hodnoty rezistorů pro další dva rozsahy, čili pro I_{MAX} = 1,5 A je hodnota rezistoru 0,24 Ω a pro I_{MAX} = 2,5 A je hodnota rezistoru 0,12 Ω. Tyto rezistory jsou realizovány pomocí paralelního zapojení rezistorů R₂ = 0,22 Ω a R₃ = 15 Ω k rezistoru R₁ a přepínače SW₁.

Rezistor R₇ udává hodnotu proudu, kterým je akumulátor nabíjen v první fázi nabíjení, než dosáhne napětí akumulátoru hodnoty U₁.

$$R_{7-12} = \frac{U_{in} - U_T - 2,5}{I_T} = \frac{16 - 10,5 - 2,5}{0,035} = 85\Omega \quad (31)$$

$$R_{7-6} = \frac{U_{in} - U_T - 2,5}{I_T} = \frac{16 - 5,3 - 2,5}{0,035} = 234\Omega \quad (32)$$

Kde I_T je zvolený proud, kterým bude nabíjen hluboce vybitý akumulátor. Hodnota tohoto proudu nemusí být nastavena úplně přesně, proto je pro oba typy akumulátorů použit rezistor R₇ = 200Ω.

- **Kondenzátory C₁ a C₂** - Kondenzátor C₁ je zvolen v souladu s katalogovými listy. Kondenzátor C₂ má za úkol snižovat proudové rázy při připojení nabíječky k síťovému napětí.

- **Ochrana proti přepólování** – zajišťuje dioda D_4 a pojistka POJ_1 . Pokud dojde ke špatnému připojení akumulátoru proud procházející přes rychlou diodu D_4 (1N4007) přetaví pojistku POJ_1 . Zároveň se rozsvítí LED dioda D_3 .
- **Návrh chladiče pro tranzistor Q_1** – Tranzistor TIP 147 je vybaven chladičí plochou, která chladí vnitřní zapojení. Protože však pracuje s vyššími proudy, je potřeba jej připojit k externímu chladiči. Tepelnou ztrátu vypočítáme pomocí vztahu uvedených v [16].

$$P_D = (U_{in} - U_{out}) I_{max} = (16 - 5,3) \cdot 2,5 = 26,75W \quad (33)$$

Kde U_{out} – výstupní napětí stabilizátoru

U_{in} – napětí na vstupu stabilizátoru

I_{max} – maximální proud

Nyní, když je známá tepelná ztráta integrovaného obvodu můžeme za pomoci dalších hodnot odečtených z katalogových listů TIP 147 vypočítat tepelný odpor chladiče [17].

$$R_{tch} = \frac{\Theta_{jmax} - \Theta_{amax}}{P_D} = \frac{150 - 45}{26,75} = 3,9 \frac{K}{W} \quad (34)$$

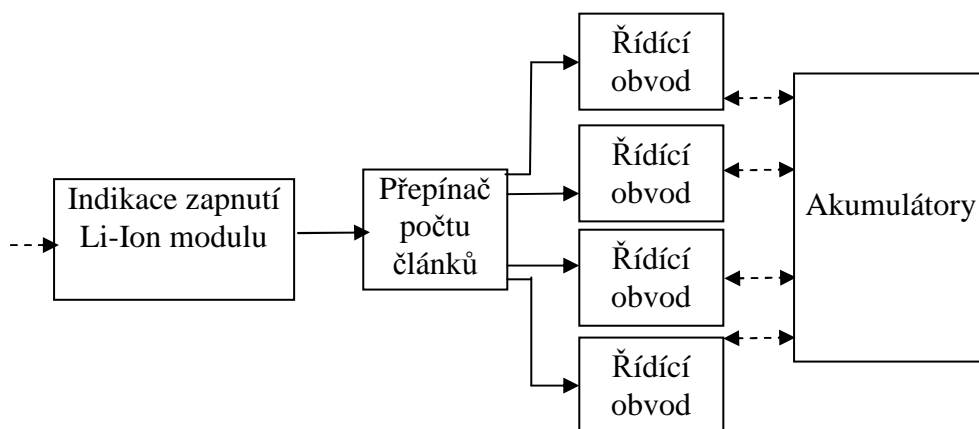
Kde $\Theta_{jmax} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ – maximální povolená pracovní teplota Q_1

$\Theta_{amax} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ – maximální povolená teplota okolí

Je tedy potřeba zvolit chladič s maximálním tepelným odporem $3,9 \text{ K/W}$. Vybrán byl chladič CHL37B, který má tepelný odpor $R_{tch} = 2 \text{ K/W}$. Pro dobrý přenos tepla mezi integrovaným obvodem a chladičem je potřeba při montáži použít i teplovodivou pastu.

4.5 Modul Li-Ion akumulátorů

Tento modul má za úkol zajišťovat nabíjení Li-Ion akumulátorů. Blokové schéma tohoto modulu je na obr. 4.16. Tyto akumulátory jsou velmi citlivé na přesné nastavení hodnoty nabíjecího napětí. Proto je každý článek nabíjený zvlášť. Ve zdravotnických přístrojích se vyskytují nejvýše čtyřčláňkové akumulátory, proto je tento modul konstruovaný pro nabíjení až čtyř Li-Ion akumulátorů.



Obr. 4.16: Blokové schéma modulu, který nabíjí Li-ion akumulátory

Indikace zapnutí modulu – má uživatele pomocí žluté led diody informovat o tom, který z modulů je právě aktivní.

Řídicí obvod – zajišťuje řízení vlastního nabíjení akumulátoru. Tímto obvodem je MCP74113.

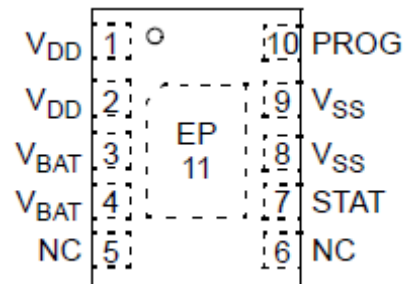
Přepínač počtu článků – přepíná počet aktivních řídicích obvodů a tím i počet nabíjených článků.

4.5.1 Nabíjení Li-Ion článků

Stejně jako RAM akumulátory i Lio-Ion akumulátory se standardně nabíjejí metodou konstantního napětí. Toto napětí je nastaveno na 4,20 V. Oproti RAM akumulátorům jsou však Li-Ion akumulátory velice citlivé na přesné nastavení této hodnoty. V opačném případě jsou akumulátory nedobíjeny na plnou hodnotu, či přebíjeny, což zkracuje jejich životnost.

4.5.2 Zvolený nabíjecí obvod

Pro nabíjení těchto baterií je proto zvolen specializovaný obvod MCP73113, který je vyráběn v pouzdře son-10.

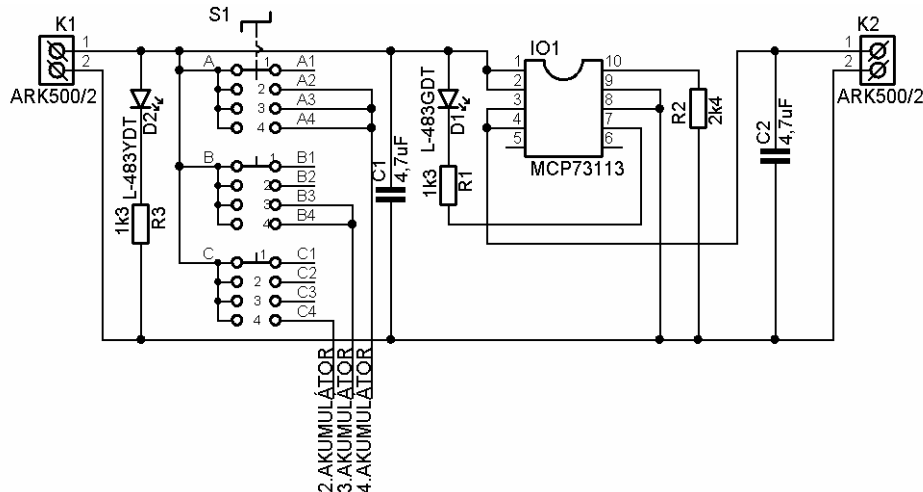


Obr. 4.17: IO₁ LM350T s popisem pinů; převzato z [18]

Jeho výhody jsou:

- Nízká cena
- Vnitřní časování pro přípravné nabíjení (32minut) a rychle nabíjení(6h)
- Teplotní regulace – pokud dojde k přehřátí obvodu, automaticky se sníží nabíjecí proud.
- Nízký počet externích prvků

4.5.3 Popis konstrukce



Obr. 4.18: Schéma modulu, který nabíjí Li-ion akumulátory

Při zapnutí modulu obvod IO₁ otestuje zda je připojen akumulátor. pokud je akumulátor vybit začne jeho nabíjení. Toto nabíjení je signalizováno svícením LED diody D₁. Pokud tato dioda bliká, znamená to chybu nabíjení (vadný článek, přehřátí obvodu, přetečení časovače).

- **Indikace zapnutí modulu a probíhajícího nabíjení akumulátoru** - je realizována pomocí LED diod L-483YDT (modul je zapnut) a L-483GDT (indikace nabíjení), které jsou zapojeny přes rezistor R₃ a R₁. Napětí na diodách je U_F = 2,2 V a proud procházející diodami je I_F = 10 mA.

Výpočet hodnoty rezistoru R₃:

$$R_3 = \frac{U_0 - U_F}{I_F} = \frac{16 - 2,2}{0,01} = 1380\Omega \quad (35)$$

Tato hodnota nemusí být zvolena přesně, protože rezistory ovlivňují pouze intenzitu svícení LED diod. Je tedy zvolena hodnota pro rezistory R₁ = R₃ = 1,3 kΩ.

- **Hodnota rezistoru R₂** – Tento rezistor udává maximální proud, jímž bude akumulátor nabíjen. Hodnota tohoto proudu by neměla přesáhnout 0,7 C akumulátoru. Vzhledem k omezenému množství proudu, který je možno odebrat ze spínaného zdroje a také pro šetrnější nabíjení baterií menších kapacit, je zvolena maximální hodnota nabíjecího proudu 500 mA. Odpovídající hodnota rezistoru je R₂ = 2,4 kΩ.
- **Kondenzátory C₁ a C₂** - Kondenzátory C₁ a C₂ jsou zvoleny v souladu s katalogovými listy. Kondenzátor C₁ má za úkol snižovat proudové rázy při připojení nabíječky k síťovému napětí, kondenzátor C₂ podobně snižuje proudové rázy při připojení akumulátorů. Tyto tantalové kondenzátory mají mít hodnotu minimálně 1 μF. Pro lepší vlastnosti zapojení je zvolena hodnota 4,7 μF.
- **Návrh chladiče pro MCP73113** – Pouzdro tohoto obvodu je vybaveno jedenáctou pájecí plochou, která se připájí k desce plošných spojů a proto nemá možnost připojení externího chladiče. Při návrhu plošného spoje by na toto mělo být pamatováno.

5 Oživení a uvedení do provozu

Jako první krok při oživování jednotlivých modulů je potřeba zkontrolovat správnost zapojení a zapájení jednotlivých prvků.

5.1 Modul spínaného zdroje

U tohoto modulu není potřeba nic nastavovat, je však vhodné napřed připojit k tomuto modulu laboratorní zdroj s proudovým omezením. Tento zdroj by byl připojen za můstkový usměrňovač M_1 a měl by hodnoty nastaveny přibližně na 29 V / 0,5 A. Po překontrolování funkcí modulu spínaného zdroje pomocí multimetru připojeného k výstupu je tento modul připraven pro běžný provoz.

5.2 Modul NiCd/NiMH

Ani u tohoto modulu není potřeba nic nastavovat. Proto můžeme připojit tento modul k napájecímu zdroji. Pokud je vše v pořádku měla by se svítit zelená LED dioda. Taktéž by měla svítit červená LED dioda, která signalizuje, že je modul připojen na napájecí napětí. Nyní zkontrolujeme jestli výstupní napětí odpovídá nastavenému počtu článků. Nyní můžeme připojit akumulátor. Zelená LED dioda by měla začít krátce blikat.

5.3 Modul RAM

U tohoto modulu je potřeba nastavit hodnotu trimru P_1 do poloviny a následně můžeme modul připojit k napájecímu zdroji. Měla by se rozsvítit červená LED dioda signalizující přítomnost napájení. Zelená LED dioda by měla zůstat zhasnutá. Poté pomocí trimru P_1 nastavíme velikost napětí na výstupu na 1,6 V. Nyní můžeme připojit akumulátor. Zelená LED dioda by měla po celou dobu napájení svítit.

5.4 Modul gelových olověných akumulátorů

Také u tohoto modulu je potřeba nastavit trimry P_1 a P_2 . Přičemž hodnota trimru $P_1 = 45 \text{ k}\Omega$ a hodnota trimru $P_2 = 85 \text{ k}\Omega$ a můžeme připojit napájecí napětí. Měla by se rozsvítit červená LED dioda signalizující přítomnost napájení. Zelená LED dioda by měla zůstat zhasnutá. Po připojení akumulátoru by se zelená dioda měla rozsvítit.

5.5 Modul Li-Ion akumulátorů

Zde se nic nenastavuje. Po připojení napájecího napětí, by měla červená LED dioda svítit a diody u jednotlivých IO obvodů, by měli být zhasnuté. Po připojení akumulátorů a zahájení nabíjení by u aktivních IO obvodů měly začít svítit jejich zelené LED diody.

6 Návod na použití

Tento automatický nabíječ je schopen nabíjet NiCd, NiMH, alkalické nabíjecí, gelové olovené a Li-Ion akumulátory. Pomocí nabíječe by neměly být nabíjeny žádné jiné typy baterií. Baterie by při nabíjení měly být připojeny pouze k nabíječi. Pokud jsou akumulátory nabíjeny, nemělo by se manipulovat s ovládacími prvky. Při připojování a odpojování akumulátorů, by měl být nabíječ vždy odpojen od rozvodné sítě.

6.1 Postup nabíjení NiCd/NiMH akumulátorů:

- Přepínač pro výběr elektrochemického systému se nastaví na nabíjení NiCd/NiMH akumulátorů.
- Pomocí přepínače pro volbu počtu nabíjených článků se zvolí počet nabíjených článků.
- Pomocí přepínače pro volbu kapacity nabíjených akumulátorů se zvolí hodnota, která nejbližší odpovídá celkové kapacitě nabíjených baterií.
- Akumulátory se připojí k automatickému nabíječi.
- A nyní se automatický nabíječ připojí do rozvodné sítě.
- Pokud je vše v pořádku měla by svítit červená LED dioda signalizující zapnutí nabíječe a žlutá LED dioda signalizující zvolený modul NiCd/NiMH akumulátorů. Zelená LED dioda signalizující nabíjení akumulátorů by měla krátce blikat.
- Pokud zelená LED dioda nepřetržitě svítí ihned po připojení do rozvodné sítě, je třeba zkontrolovat vložené akumulátory a nastavení ovládacích prvků.
- Pokud zelená LED dioda začne svítit až po delší době, signalizuje to že akumulátory jsou nabitý.

6.2 Postup nabíjení alkalických nabíjecích akumulátorů:

- Přepínač pro výběr elektrochemického systému se nastaví na nabíjení RAM akumulátorů.
- Pomocí přepínače pro volbu počtu nabíjených článků se zvolí počet nabíjených článků.
- Akumulátory se připojí k automatickému nabíječi.
- A nyní se automatický nabíječ připojí do rozvodné sítě.
- Pokud je vše v pořádku měla by svítit červená LED dioda signalizující zapnutí nabíječe a žlutá LED dioda signalizující zvolený modul RAM akumulátorů. Zelená LED dioda signalizující nabíjení akumulátorů by měla svítit také.
- Pokud je zelená LED dioda zhasnutá ihned po připojení do rozvodné sítě, je třeba zkontrolovat vložené akumulátory a nastavení ovládacích prvků.
- Pokud zelená LED dioda zhasne až po delší době, signalizuje to že akumulátory jsou nabitý.

6.3 Postup nabíjení gelových olověných akumulátorů:

- Přepínač pro výběr elektrochemického systému se nastaví na nabíjení gelových olověných akumulátorů.
- Pomocí přepínače pro volbu napětí akumulátoru (6V/12V) se zvolí napětí nabíjeného akumulátoru .
- Pomocí přepínače pro volbu kapacity nabíjeného akumulátorů se zvolí hodnota, která nejbližší odpovídá kapacitě nabíjeného akumulátoru.
- Akumulátor se připojí k automatickému nabíječi. Nejprve se připojí kladný pól a poté se připojí záporný pól.
- Pokud je vše v pořádku měla by svítit červená LED dioda signalizující zapnutí nabíječe a žlutá LED dioda signalizující zvolený modul gelových olověných akumulátorů. Zelená LED dioda signalizující nabíjení akumulátorů by měla svítit také.
- Pokud je zelená LED dioda zhasnutá je třeba zkontrolovat vložený akumulátor a nastavení ovládacích prvků.
- Pokud se rozsvítí červená LED dioda u modulu gelových olověných akumulátorů. Znamená to, že byl chybně připojen akumulátor a došlo k přepólování akumulátoru, v důsledku čehož byla přepálena pojistka chránící přístroj před špatným pólováním a zkratem. Při výměně této pojistky musí být nejprve automatický nabíječ vytažen ze zásuvky a musí být odpojen akumulátor.
- Pokud zelená LED dioda bliká, signalizuje to že akumulátor je nabit.

6.4 Postup nabíjení Li-Ion akumulátorů:

- Přepínač pro výběr elektrochemického systému se nastaví na nabíjení Li-Ion akumulátorů.
- Pomocí přepínače pro volbu počtu nabíjených článků se zvolí počet nabíjených článků.
- Akumulátory se připojí k automatickému nabíječi.
- Pokud je vše v pořádku měla by svítit červená LED dioda signalizující zapnutí nabíječe a žlutá LED dioda signalizující zvolený modul Li-Ion akumulátorů. Zelená LED dioda signalizující nabíjení akumulátorů by měla svítit také.
- Pokud zelená LED dioda bliká je třeba zkontrolovat vložený akumulátor a nastavení ovládacích prvků.
- Pokud zelená LED dioda zhasne až po delší době, signalizuje to že akumulátor je nabit.

7 Závěr

Záměrem této práce bylo popsat vlastnosti akumulátorů používaných ve zdravotnictví a navrhnout automatický nabíječ akumulátorů pro biomedicíncké přístroje. Hlavní úkoly zadání se povedlo úspěšně splnit.

V první části práce jsou podrobně rozebrány jednotlivé elektrochemické systémy používané ve zdravotnictví nejen z hlediska základních parametrů, ale i z hlediska požadavků na jejich provoz a kapacitu, včetně jejich hlavních výhod a nevýhod. Také jsou zde popsány způsoby jejich nabíjení a způsoby rozpoznání stavu nabití.

V druhé části diplomové práce jsou definovány požadavky na jednotlivé moduly automatického nabíječe, jsou zvoleny konkrétní produkty a navrženy konkrétní obvodová řešení.

Navržený automatický nabíječ dokáže nabíjet všechny typy akumulátorů běžně používaných ve zdravotnictví. Při nabíjení nabíječ pomocí LED diod názorně indikuje v jakém stádiu nabíjení se nachází. U jednotlivých elektrochemických systémů je možnost nabíjet více akumulátorů zároveň, či nastavit kapacitu nabíjených akumulátorů a tím zvyšovat jejich životnost. V automatickém nabíječi jsou zahrnuty i sekundární možnosti přerušování nabíjení jako je detekce teplotního rozsahu pro nabíjené akumulátory, či detekce vadných článků.

Zároveň je možno ponechat akumulátory v nabíječi i po úplném nabití, protože poté jsou nabíjeny v udržovacím režimu, který kompenzuje jejich samovolné vybíjení. Díky tomu jsou tyto akumulátory kdykoliv připraveny k použití.

V rámci diplomové práce byl prakticky realizován modul spínaného zdroje a modul nabíjející gelové olověné akumulátory. Po jejich oživení byly zkušebně nabíjeny gelové olověné akumulátory a byla odzkoušena funkčnost ochrany proti přepólování.

8 Použitá literatura

- [1] Radioamatérský občasník, Jak na baterie NiCd a NiMH [cit. 2009-10-04]. Dostupné z WWW: http://ok1cjb.nagano.cz/www/?za%F8%EDzen%ED:nap%E1jen%ED:baterie_-_1
- [2] Ing.Milan Dřínek, Chcete stavět nabíječku ? [cit. 2009-13-04]. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART633-Chcete-stavet-nabijecku-.html>
- [3] GP Nicel Cadmium, Technical Hand Book [cit. 2009-10-03]. Dostupné z WWW: <http://www.gpbatteries.com/html/techinfo/nicd.asp>
- [4] GP Nicel Metal Hydride, Technical Hand Book [cit. 2009-10-03]. Dostupné z WWW: <http://www.gpbatteries.com/html/techinfo/nimh.asp>
- [5] MORAVIA Europe spol. s r.o., Paměťový efekt [cit. 2009-10-03]. Dostupné z WWW: <http://www.moravia-europe.eu/cz/support/?id=60-fiarmo-batteries-and-chargers-faq#pamov-efekt>
- [6] Oldřich Mrázek, Akumulátory SLA (Sealed Lead - Acid) [cit. 2009-15-03]. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/Firemni-clanky/Microrisc/ART127-Akumulatory-SLA-Sealed-Lead---Acid.html>
- [7] Jan Humlhas, Inteligentní nabíječky s obvody Maxim Praha: Technická literatura BEN Praha, 2005, 144 stran. ISBN 80-86056-83-X.
- [8] Zdeněk Kincl, Akumulátory v praxi [cit. 2009-22-04]. Dostupné z WWW: <http://www.prcek.ic.cz/stranky/index.php?id=15>
- [9] Jan Havlík, Vlastnosti a použití niklkadmiových a niklmetalhydridových akumulátorů [cit. 2009-22-04]. Dostupné z WWW: <http://amber.feld.cvut.cz/user/xhavlikj>
- [10] Fotonmag.cz, Srovnávací test přednabitých tužkových (AA) baterií [cit. 2009-23-04]. Dostupné z WWW: <http://www.fotonmag.cz/svitilny/baterie/srovnavaci-test-prednabitych-tuzkovych-aa-baterii/>
- [11] Petr Šimíček, Vývoj baterií přenosných počítačů [cit. 2009-03-05]. Dostupné z WWW: <http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2005/xsimicek.htm>
- [12] Allaboutbatteries, Battery energy [cit. 2010-09-02]. Dostupné z WWW: <http://www.allaboutbatteries.com/Battery-Energy.html>
- [13] Pure energy, Konstrukce RAM článku [cit. 2010-09-02]. Dostupné z WWW: <http://pureenergy.cz/>
- [14] Dr. Josef Daniel, Rechargeable alekaline Manganese [cit. 2010-09-02]. Dostupné z WWW: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00731531>
- [15] National semiconductor, katalogové listy LM2576T-ADJ [cit. 2010-09-04]. Dostupné z WWW: <http://www.national.com>
- [16] Fukátko T., Fukátko J., Teplo a chlazení v elektrotechnice II. [cit. 2010-02-05]. Technická literatura BEN Praha, 2006, 112 stran. ISBN 80-7300-199-3.
- [17] Texas instrument, katalogové listy UC3906 [cit. 2010-09-04]. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/399/399-103/dsh.399-103.1.pdf
- [18] National Semiconductor, katalogové listy LM350T [cit. 2010-09-05]. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/331/331-007/dsh.331-007.1.pdf
- [19] Microchip, katalogové listy MCP73113 [cit. 2010-012-05]. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/955/955-107/dsh.955-107.1.pdf
- [20] On Semiconductor, katalogové listy MC33340 [cit. 2010-014-05]. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/433/433-315/dsh.433-315.1.pdf

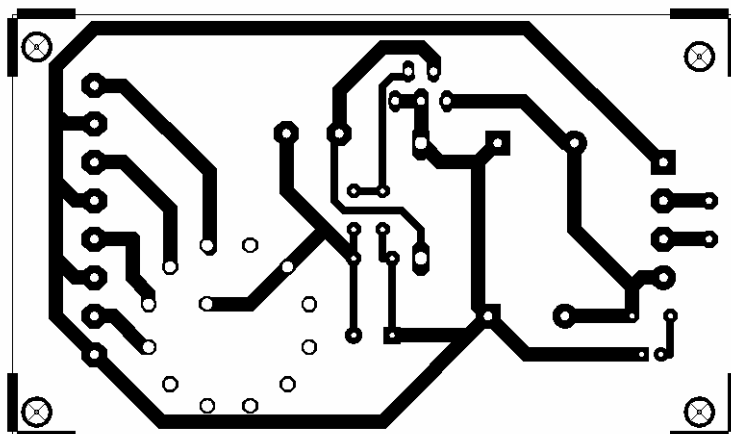
9 Seznam obrázků

Obr. 2.1: Nabíjecí charakteristika NiCd akumulátoru; převzato z [3]	12
Obr. 2.2: Vybíjecí charakteristika NiCd akumulátoru; převzato z [3]	12
Obr. 2.3: Nabíjecí charakteristika NiMH článku; převzato z [4]	13
Obr. 2.4: Vybíjecí charakteristika NiMH článku; převzato z [4]	14
Obr. 2.5: Nabíjecí charakteristika RAM akumulátoru; převzato z [14]	16
Obr. 2.6: Vybíjecí charakteristika RAM akumulátoru převzato z [14]	16
Obr. 2.7: Nabíjecí charakteristika gelového olověného článku; převzato z [6]	17
Obr. 2.8: Vybíjecí charakteristika gelového olověného článku; převzato z [6]	18
Obr. 2.9: Nabíjecí charakteristika Li-Ion článku; převzato z [11]	19
Obr. 2.10: Vybíjecí charakteristika Li-Ion článku; převzato z [11]	19
Obr. 3.1: Ukončení nabíjení při dosažení stanoveného napětí; převzato z [9]	21
Obr. 3.2: Ukončení nabíjení při dosažení maximálního napětí; převzato z [9]	22
Obr. 3.3: Ukončení nabíjení při poklesu napětí; převzato z [9]	22
Obr. 3.4: Ukončení nabíjení při dosažení napěťové derivační špičky; převzato z [9]	22
Obr. 3.5: Ukončení nabíjení při dosažení předem stanovené teploty; převzato z [9]	23
Obr. 3.6: Ukončení nabíjení při dosažení určitého náklonu teplotní křivky; převzato z [9] ..	23
Obr. 3.7: Ukončení nabíjení při dosažení stanoveného proudu; převzato z [9]	23
Obr. 4.1: Blokové schéma automatického nabíječe	25
Obr. 4.2: Blokové schéma modulu zdroje	25
Obr. 4.3: Schéma spínaného zdroje	26
Obr. 4.4: Pouzdro IO ₁ LM2576HV-ADJ s popisem pinů; převzato z [15]	27
Obr. 4.5: Blokové schéma IO ₁ LM2576HV-ADJ; převzato z [15]	27
Obr. 4.6: Graf závislosti E.T na maximálním výstupním proudu	28
Obr. 4.7: Blokové schéma modulu nabíjecího NiCd/NiMH	30
Obr. 4.8: Pouzdro IO ₁ MC33340 s popisem pinů; převzato z [20]	31
Obr. 4.9: Schéma modulu, který nabíjí NiCd/NiMH akumulátory	31
Obr. 4.10: Blokové schéma modulu nabíjecího RAM akumulátory	34
Obr. 4.11: Pouzdro IO ₁ LM350T s popisem pinů; převzato z [18]	34
Obr. 4.12: Schéma modulu nabíjecího RAM akumulátory	35
Obr. 4.13: Blokové schéma modulu nabíjecího gelové olověné baterie	36
Obr. 4.14: Průběhy napětí a proudu v jednotlivých fázích nabíjení	38
Obr. 4.15: Schéma modulu, který nabíjí gelové olověné baterie	38
Obr. 4.16: Blokové schéma modulu, který nabíjí Li-ion akumulátory	41
Obr. 4.17: IO ₁ LM350T s popisem pinů; převzato z [18]	42
Obr. 4.18: Schéma modulu, který nabíjí Li-ion akumulátory	43

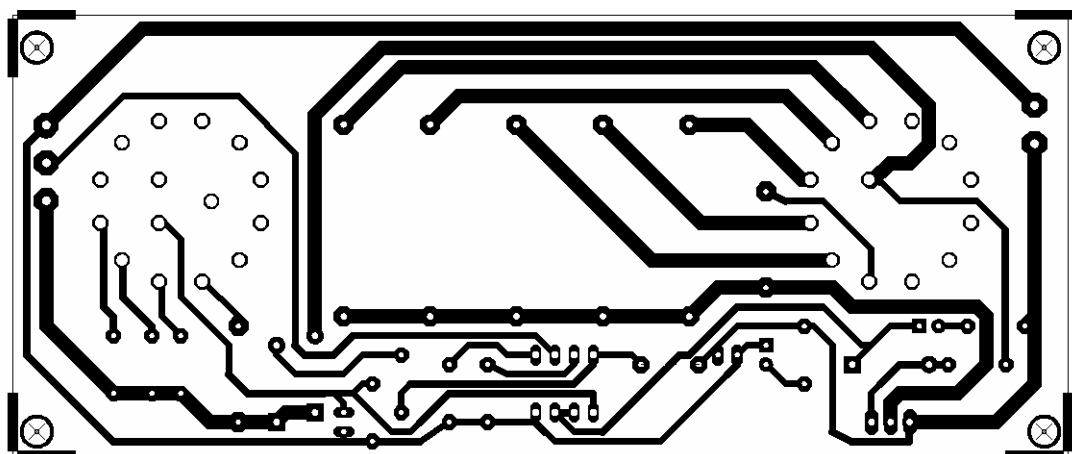
10 Seznam tabulek

Tab. 2.1: Srovnání vlastností různých typů akumulátorů [2], [12]	10
Tab. 4.1: Možnosti nabíjení akumulátorů NiCd a NiMH, převzato z [7]	30

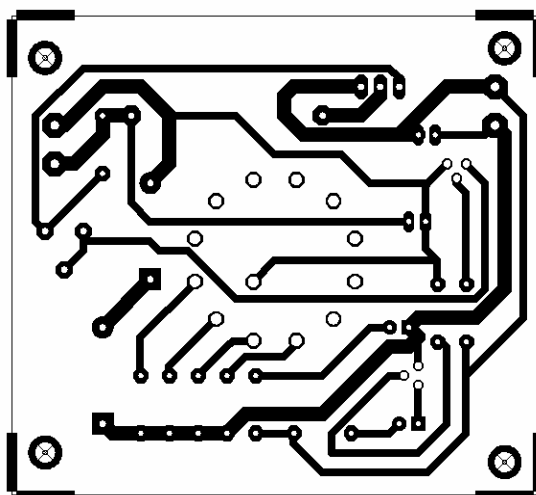
Příloha A: Desky plošných spojů



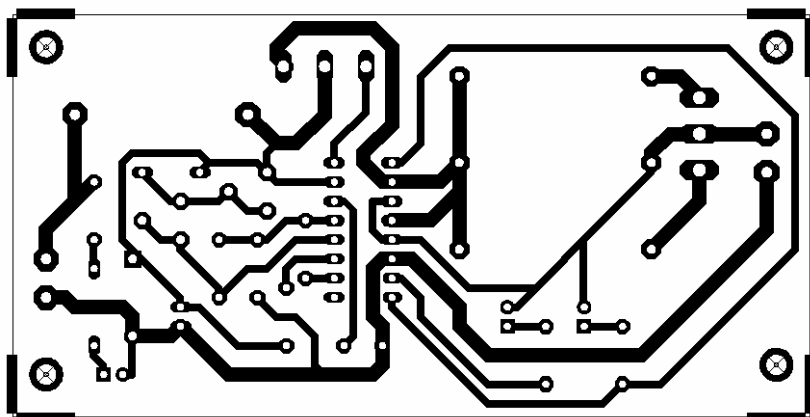
Obr. č. 1: Deska plošných spojů modulu spínaného zdroje, strana spojů



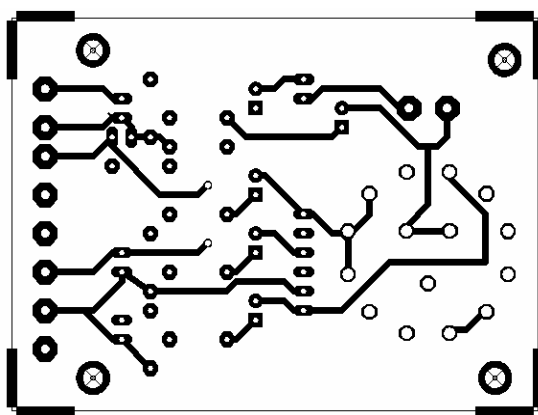
Obr. č. 2: Deska plošných spojů modulu NiCd/NiMH, strana spojů



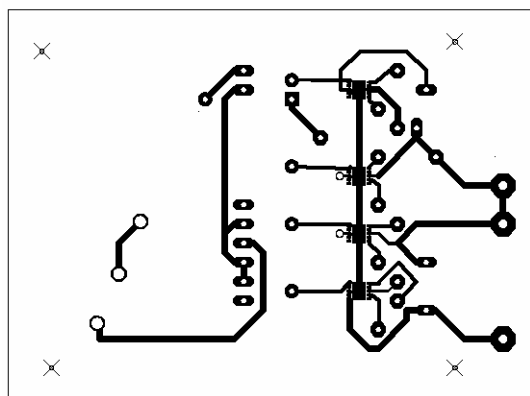
Obr. č. 3: Deska plošných spojů modulu RAM, strana spojů



Obr. č. 4: Deska plošných spojů modulu gelových olověných akumulátorů, strana spojů

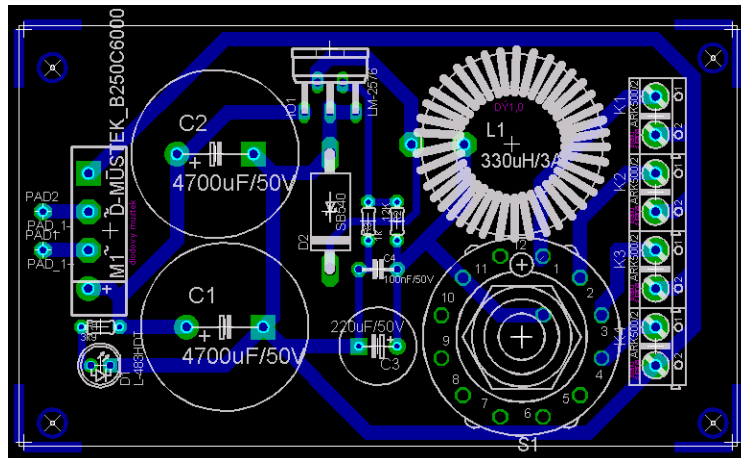


Obr. č. 5: Desky plošných spojů modulu Li-Ion, strana spojů

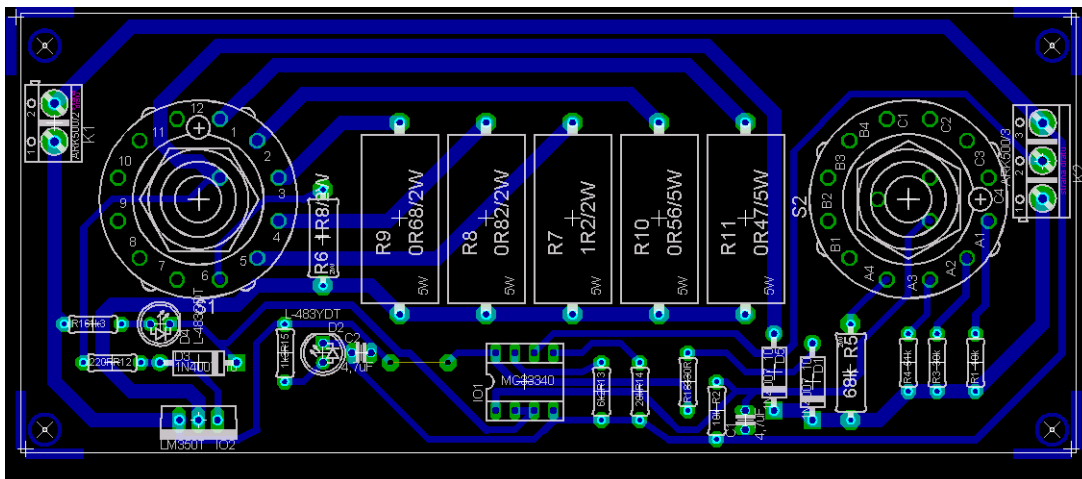


Obr. č. 6: Desky plošných spojů modulu Li-Ion, strana součástek

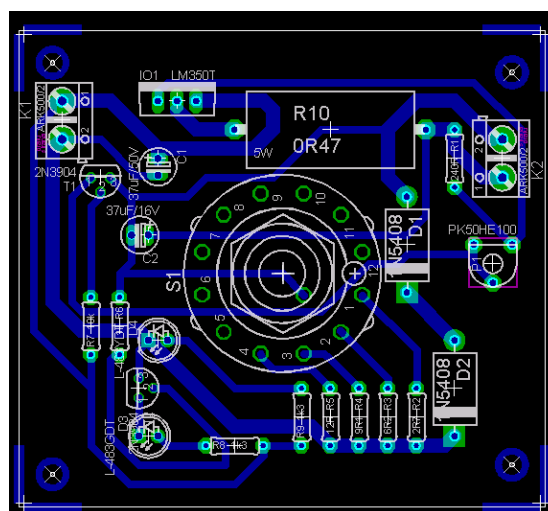
Příloha B: Osazovací plány



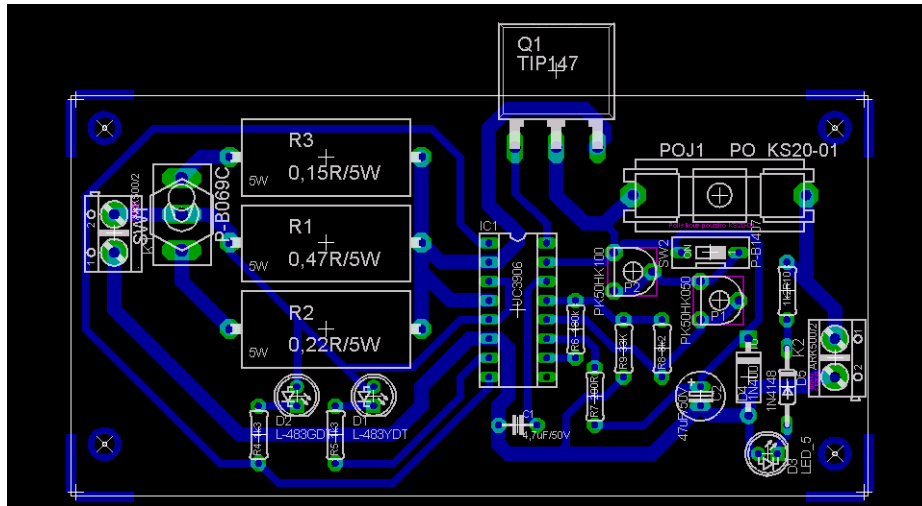
Obr. č. 1: Osazovací plán spínaného zdroje



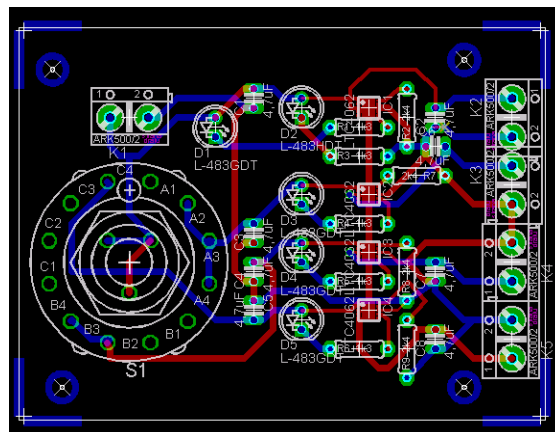
Obr. č. 2: Osazovací plán modulu NiCd/NiMH



Obr. č. 3: Osazovací plán modulu RAM



Obr. č. 4: Osazovací plán modulu gelových olověných baterií



Obr. č. 5: Osazovací plán modulu Li-Ion

Příloha C: Rozpiska součástek

Tab č.1: Modul spínaného zdroje

Označení	Název	Poznámka
R ₃	1k	
R ₁	3k9	
R ₂	12k	
C ₃	220 µF / 50V	elektrolytický kondenzátor
C ₁ , C ₂	4700 µF / 50V	elektrolytický kondenzátor
C ₄	100 nF / 50 V	tantalový kondenzátor
IO ₁	LM – 2576 HVT - ADJ	
D ₂	SB540	
D ₁	L – 483 HDT	červená LED
M ₁	B250C6000	diodový můstek
S ₁	P-DS1B	
L ₁	DPU330A3	
TR ₁	50 VA 1x29V	toroidní transformátor
K ₁ , K ₂ , K ₃ , K ₄	ARK500/2	svorkovnice
vstupní konektor	FEH51106	

Tab č.2: Modul Li-Ion

Označení	Název	Poznámka
R ₁ , R ₃ , R ₄ , R ₅ , R ₆	1k3	
R ₂ , R ₇ , R ₈ , R ₉	2k4	
C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅ , C ₆ , C ₇ , C ₈	4,7 µF	tantalové kondenzátory
IO ₁ , IO ₂ , IO ₃ , IO ₄	MCP73113	
D ₁ , D ₃ , D ₄ , D ₅	L – 483 GDT	zelená LED
D ₂	L – 483 HDT	žlutá LED
D ₃	L – 483 HT	červená LED
S ₁	P-DS3B	
K ₁ , K ₂ , K ₃ , K ₄ , K ₅	ARK500/2	svorkovnice

Tab č.3: Modul NiCd/NiMH

Označení	Název	Poznámka
R ₁₁	0R47 / 5W	
R ₁₀	0R56 / 5W	
R ₉	0R68 / 2W	
R ₈	0R82 / 2 W	
R ₇	1R2 / 2W	
R ₆	1R8 / 2W	
R ₁₂	220R	
R ₁₈	330R	
R ₁₅ , R ₁₆	1k	
R ₁₃	6k2	
R ₁ , R ₂	10k	
R ₁₄	20k	
R ₃	30k	
R ₄	51k	
R ₅	68k	
R ₁₇	NTC640-10k	termistor
C ₁ , C ₂	4,7 μ F	tantalové kondenzátory
IO ₁	MC33340	
IO ₂	LM350T	
D ₁ , D ₃ , D ₅	1N4007	
D ₂	L – 483 YDT	žlutá LED
D ₄	L – 483 GDT	zelená LED
S ₁	P-DS1B	
S ₂	P-DS3B	
K ₁ ,	ARK500/2	svorkovnice
K ₂	ARK500/3	svorkovnice

Tab č.4: Modul RAM

Označení	Název	Poznámka
R ₁₀	0R47 / 5W	
R ₂	2R7	
R ₃	6R2	
R ₄	9R1	
R ₅	12R	
R ₁	240R	
R ₆	1k	
R ₈ , R ₉	1k3	
R ₁₀	10k	
P ₁	100R	PK50HE100
C ₁ , C ₂	37 μ F	elektrolytické kondenzátory
IO ₁	LM350T	
T ₁ , T ₂	2N3904	
D ₁ , D ₂	1N5408	
D ₃	L – 483 YDT	žlutá LED
D ₄	L – 483 GDT	zelená LED
S ₁	P-DS1B	
K ₁ , K ₂	ARK500/2	svorkovnice

Tab č.5: Modul gelových olověných akumulátorů

Označení	Název	Poznámka
R ₁	0R47 / 5W	
R ₂	0R22 / 5W	
R ₃	0R15 / 5W	
R ₇	200R	
R ₁₀	10k	
R ₄ , R ₅	1k3	
R ₈	8k2	
R ₉	33k	
R ₆	180k	
P ₁	100k	PK50HK100
P ₂	50k	PK50HK050
C ₁ , C ₂	37 μ F	elektrolytické kondenzátory
IO ₁	UC3906	
Q ₁	TIP 147	
D ₁	L – 483 YDT	žlutá LED
D ₂	L – 483 GDT	zelená LED
D ₃	L – 483 HT	červená LED
D ₄	1N4007	
D ₅	1N4148	
SW ₁	P-B069C	přepínač on-off-on
SW ₂	P-B1407	přepínač on-off
POJ1	KS20-01	s pojistkou 2500 mA
K ₁ , K ₂	ARK500/2	svorkovnice