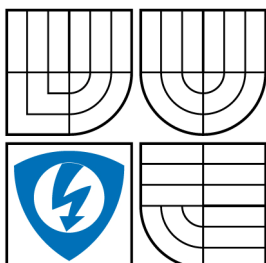


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

NABÍJEČKA NiCd A NiMH AKUMULÁTOROVÝCH ČLÁNKŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VÁCLAV DRDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HÁZE, Ph.D.

BRNO 2008

Zde bude originální zadání bakalářské práce.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Václav Drda
Bytem: Valašská Bystřice č.p. 392, 756 27
Narozen/a (datum a místo): 11.11.1984, Valašské Meziříčí

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Prof. Ing. Radimír Vrba, CSc

(dále jen „nabyvatel“)

Článek 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: Nabíječka NiCd a NiMH akumulátorových článků

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Ústav: Ústav mikroelektroniky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

* hodící se zaškrtněte

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.

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: 29. 5. 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace:

Práce pojednává o návrhu autonomní nabíječky NiCd a NiMH akumulátoru ve spínaném režimu. Byly zjištěny vlastnosti těchto akumulátorů. Pro konečný návrh byla nutná znalost základních parametrů. Z těchto vlastností byl navržen postup řešení. Zařízení bylo navrženo podle zadání. Zadání požaduje maximální využití parametrů a životnosti článků, možnost rozpoznání vadného článku (zkratovaného, přerušeného, nebo článku s výrazně odlišnou kapacitou než ostatní články v baterii). Na základě výsledku ze simulací a dílčích testů bylo zařízení zhotoveno. Funkce zařízení byla laboratorně ověřena.

Annotation:

The work deals with design of self-contained NiCd and NiMH battery charger using switch-mode operation. The procedure of solution was proposed and based on defined characteristics of charger. The basic aim of the proposal is to obtain maximum utilization of parameters and life of the batteries. The other requirement is ability to diagnose defective of the batteries (short-circuited, disconnected and different capacity than other batteries). The simulation and partial tests served to fabricate the charger. Function was tested in laboratory.

Klíčová slova:

Nabíječka baterií NiCd a NiMH, rychlé nabíjení, spínaný režim

Key words:

Battery charger, NiCd and NiMH battery, fast charge, switch-mode operation

DRDA, V. Nabíječka NiCd a NiMH akumulátorových článků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Háze, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Nabíječka NiCd a NiMH akumulátorových článků“ 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 29. 5. 2008

Podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji pedagogickému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Brichovi a Ing. Jiřímu Házemu, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na bakalářskou práci. Taktéž děkuji zaměstnancům ON Semiconductor SCG Czech Design Center za veškerou pomoc při řešení a vypracování bakalářské práce.

OBSAH

1	<i>Úvod s trochou historie.....</i>	13
2	<i>Základní druhy a typy elektrochemických napájecích zdrojů</i>	14
2.1	Akumulátory NiCd	14
2.1.1	Princip elektrochemické reakce	14
2.1.2	Proces nabíjení.....	14
2.1.3	Proces vybíjení	15
2.1.4	Charakteristická vlastnost – paměťový efekt.....	16
2.1.5	Druhy použití.....	16
2.2	Akumulátory NiMH	17
2.2.1	Princip elektrochemické reakce	17
2.2.2	Proces nabíjení.....	17
2.2.3	Proces vybíjení	18
2.2.4	Paměťový efekt.....	19
3	<i>Způsoby nabíjení akumulátorů.....</i>	20
3.1	Nabíjecí charakteristika typu U	20
3.2	Nabíjení charakteristikou typu I.....	20
3.3	Nabíjení charakteristikou typu W.....	20
3.4	Dobíjení článku nesymetrickým střídavým proudem	21
4	<i>Možnosti ukončení nabíjení.....</i>	22
4.1	Podle sklonu nabíjecí charakteristiky	22
4.2	Po dosažení zvolené teploty	22
4.3	Po uplynutí nastaveného času	22
5	<i>Obvody pro nabíjení.....</i>	22
6	<i>Postup návrhu nabíječky.....</i>	23
6.1	Volba metody nabíjení a nabíjecího obvodu	23
6.2	Volba hlavních součástí obvodu (MAX 713)	23
6.2.1	Postup při návrhu nabíječe s MAX713	25
6.2.2	Popis funkce	26
6.2.3	Rychlé a kapkové nabíjení.....	28
6.2.4	AT89C52 [3], [4].....	28
6.2.5	LCD display MC1602B.....	29
7	<i>Schéma zapojení.....</i>	30
7.1	Návrh obvodu.....	30
7.1.1	Část nabíjecí	30
7.1.2	Část řídicí.....	31

7.1.3	Celkové schéma.....	32
7.1.4	Část napájecí.....	33
7.1.5	Celková funkce zapojení	33
8	<i>Desky plošných spojů.....</i>	34
8.1	DPS nabíječky s MAX713	34
8.2	DPS napájení.....	34
9	<i>Programové vybavení</i>	35
9.1	Programovací prostředí a vývojový diagram.....	35
10	<i>Výroba prototypu</i>	36
11	<i>Oživení prototypu.....</i>	36
12	<i>Výsledky laboratorních měření</i>	36
12.1	Ověření funkčnosti na osciloskopu.....	36
12.2	Měření nabíjecích charakteristik	37
12.3	Teplotní vliv na zařízení.....	37
13	<i>Mechanická konstrukce</i>	37
14	<i>Závěr.....</i>	38
15	<i>Použitá literatura</i>	39
16	<i>Přílohy.....</i>	41

Seznam obrázků:

OBRÁZEK 2.1 NABÍJECÍ CHARAKTERISTIKY NiCd AKUMULÁTORŮ	15
OBRÁZEK 2.2 ZÁVISLOST VYBÍJENÍ NA TEPLOTĚ	15
OBRÁZEK 2.3 VYBÍJECÍ CHARAKTERISTIKY	15
OBRÁZEK 2.4 SKLADOVACÍ CHARAKTERISTIKA	16
OBRÁZEK 2.5 CHEMICKÉ REAKCE	17
OBRÁZEK 2.6 NABÍJECÍ CHARAKTERISTIKA	18
OBRÁZEK 2.7 VYBÍJECÍ CHARAKTERISTIKA	18
OBRÁZEK 2.8 ZÁVISLOST VYBÍJENÍ NA TEPLOTĚ	18
OBRÁZEK 2.9 SKLADOVACÍ CHARAKTERISTIKA	19
OBRÁZEK 6.1 BLOKOVÉ SCHÉMA MAX 713	23
OBRÁZEK 6.2 ROZLOŽENÍ VÝVODŮ	24
OBRÁZEK 6.3 TYPICKÝ PRŮBĚH A UKONČENÍ RYCHLÉHO NABÍJENÍ PODLE $\Delta U/\Delta T$	27
OBRÁZEK 6.4 PRŮBĚH NABÍJENÍ PŘI VLOŽENÍ BATERIE DO NAPÁJENÉHO NABÍJEČE.....	27
OBRÁZEK 6.5 TYP POUZDRA PDIP S POPISEM ZAPOJENÍ VÝVODŮ	29
OBRÁZEK 6.6 VZHLED DISPLEJE	29
OBRÁZEK 7.1 SCHÉMA NABÍJECÍ ČÁSTI.	30
OBRÁZEK 7.2 SCHÉMA ŘÍDÍCÍ ČÁSTI.....	32
OBRÁZEK 7.3 SCHÉMA NAPÁJECÍ ČÁSTI.	33
OBRÁZEK 9.1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM.....	35
OBRÁZEK P15.1 CELKOVÉ SCHÉMA NABÍJEČKY NiCd A NiMH AKUMULÁTORŮ S MAX713	42
OBRÁZEK P15.2 DPS NABÍJEČKY S ROZLOŽENÍM SOUČÁSTEK	43
OBRÁZEK P15.3 DPS NABÍJEČKY – POHLED NA SPOJE	43
OBRÁZEK P15.4 DPS NABÍJEČKY – POHLED NA VRCHNÍ SPOJE (DRÁTOVÉ PROPOJKY).....	44
OBRÁZEK P15.5 DPS NABÍJEČKY – POHLED SOUČÁSTKY (MONTÁŽNÍ SCHÉMA)	44
OBRÁZEK P15.6 DPS NAPÁJENÍ S ROZLOŽENÍM SOUČÁSTEK	45
OBRÁZEK P15.7 DPS NAPÁJENÍ – POHLED NA SPOJE	45
OBRÁZEK P15.8 NAPÁJENÍ – MONTÁŽNÍ SCHÉMA	45
OBRÁZEK P15.9 ČASOVÝ PRŮBĚH NABÍJENÍ PRO MAX. PROUD > 1A (SPÍNACÍ TRANZISTOR – RŮŽOVÁ, NABÍJECÍ PROUD – MODRÁ, NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORECH – ČERVENÁ)	47
OBRÁZEK P15.10 ČASOVÝ PRŮBĚH NABÍJENÍ PRO MAX. PROUD < 1A (SPÍNACÍ TRANZISTOR – RŮŽOVÁ, NABÍJECÍ PROUD – MODRÁ, NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORECH – ČERVENÁ)	47
OBRÁZEK P15.11 PRŮBĚH NABÍJECÍHO PROUDU (ZAČÁTEK NABÍJENÍ, VÝMĚNA ČLÁNKU, UKONČENÍ NABÍJENÍ)...	48
OBRÁZEK P15.12 PRŮBĚH NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORECH (ZAČÁTEK NABÍJENÍ, VÝMĚNA ČLÁNKU, UKONČENÍ NABÍJENÍ).....	48
OBRÁZEK P15.13 DETAIL PŘEDCHOZÍCH PRŮBĚHŮ (VÝMĚNA ČLÁNKU)	49
OBRÁZEK P15.14 PRŮBĚH NABÍJENÍ V TEPELNÉ KOMOŘE (NEJPRVE TEPLOTA NARŮSTALA, POTÉ KLESALA)	49
OBRÁZEK P15.15 PRŮBĚH NABÍJENÍ V TEPELNÉ KOMOŘE (NÁRŮST TEPLoty).....	50
OBRÁZEK P15.16 PRŮBĚH NABÍJENÍ V TEPELNÉ KOMOŘE (POKLES TEPLoty).....	50
OBRÁZEK P15.17 TECHNICKÝ VÝKRES MECHANICKÝCH ÚPRAV PŘEDNÍHO PANELU.....	51
OBRÁZEK P15.18 TECHNICKÝ VÝKRES MECHANICKÝCH ÚPRAV ZADNÍHO PANELU	52
OBRÁZEK P15.19 ŠTÍTEK NA PŘEDNÍ PANEL (1:1).....	53

Seznam tabulek:

TABULKA 2.1 SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ RŮZNÝCH TYPŮ AKUMULÁTORŮ DLE [8].	19
TABULKA 3.1 MOŽNOSTI NABÍJENÍ AKUMULÁTORŮ NiCd a NiMH	21
TABULKA 6.1 KRITÉRIA PRO UKONČENÍ RYCHLÉHO NABÍJENÍ	25
TABULKA 6.2 URČENÍ PROUDU KAPKOVÉHO NABÍJENÍ ZAPOJENÍM VÝVODU PGM3	28
TABULKA P15.1 OZNAČENÍ A FUNKCE VÝVODŮ POUZDRA MAX713	41
TABULKA P15.2 PROGRAMOVÁNÍ POČTU ČLÁNKŮ A MAXIMÁLNÍ DOBY NABÍJENÍ	41
TABULKA P15.3 ROZPISKA SOUČÁSTEK	46
TABULKA P15.4 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	47

1 Úvod s trochou historie

Elektrochemické zdroje proudu prodělaly od objevu galvanického článku A. Voltem koncem 18. století (olověný akumulátor v polovině 19. století, sobě podobné NiCd a NiM akumulátory na přelomu 19. a 20. století) období slávy i úpadku [1]. Než v druhé polovině 19. století ovládl trh elektromagnetický generátor, byly galvanické články jediným použitelným zdrojem elektrické energie. Na výsluní a do popředí se dostaly s rozvojem radiotechniky a automobilů. V současnosti všechny zdroje existují vedle sebe a jsou dále zdokonalovány, aniž je třeba ten či onen zavrhnout. K obnově napájení nezávislého na elektrické síti pro civilní elektronická zařízení dochází v padesátých letech, kdy se objevily elektronkové přenosné radiopřijímače. Další změna přichází s objevem a aplikací polovodičů. Koncem padesátých let se i u nás objevily první tuzemské tranzistorové přijímače, a tím začal rozmach přenosných elektronických přístrojů. Ten dospěl až k neutuchajícímu rozmachu dnešní doby, kdy se na trvalém pokroku podílejí všichni zúčastnění na straně nabídky moderní elektroniky – vývoj a výroba součástek, přenosných počítačů, přístrojů zábavní a komunikační elektroniky a samozřejmě také všeho ostatního, kde není žádoucí závislost na elektrické síti a primárních zdrojích. Přestože technologie moderních integrovaných elektronických součástek umožňuje navrhovat dokonalejší zapojení s nižší spotřebou, snaha o co nejvyšší množství funkcí (někdy běžným uživatelům ani nevyzkoušených) výslednou spotřebu, a tím i nároky na zdroj, spíše zvyšuje. Takovým příkladem jsou elektromotorky pro vibrační vyzvánění v mobilních telefonech. V některých případech je pro volbu mezi primárními a sekundárními články rozhodující jen úvaha uživatele přístroje. Jindy charakter zařízení prakticky jednoznačně vyžaduje napájení z akumulátorů a primární článek poslouží jen v případě nouze po vybití akumulátorů. Pak je důležité, aby doba, kdy je přístroj z důvodu vybití zdroje nepoužitelný, byla co nejkratší, aby poměrně drahé akumulátory vydržely co nejdéle a bylo možné je nabíjet sice co nejrychleji, ale tak, aby přitom byly respektovány vlastnosti použitého typu. To však vždy není jednoduché.

Říká se, že nejdůležitější je myšlenka, ale aby bylo možné tuto myšlenku uskutečnit, musí nastoupit řada procedur, které bývají (v elektronice to platí dvojnásob) daleko obtížnější a hlavně nákladnější. Tím se myslí zvolení správného a vhodného zapojení, tedy schématu, návrh desky plošných spojů nebo hybridních a monolitických obvodů a sestavení funkčního prototypu. V dnešní době je už skoro samozřejmostí, že obvod obsahuje jednoduchý nebo složitější programovací obvod, takže nelze zapomenout na programové vybavení, které někdy dokáže velmi zjednodušit obvod, a tím i snížit jeho cenu. Dalším důležitým faktorem se stal zákazník neboli konečný spotřebitel. Ten nakonec určuje, zdali počáteční myšlenka společně s dalšími postupy návrhu bude úspěšná. Kvůli tomu se snaží všichni návrháři dosáhnout co nejlepších vlastností a co nejvíce funkcí v malých rozměrech a s nízkou cenou.

2 Základní druhy a typy elektrochemických napájecích zdrojů

Tato kapitola bude krátce pojednávat o současně dostupných a perspektivních nabíjecích elektrochemických zdrojích neboli o *galvanických článcích*. Tyto články se nazývají sekundární články neboli akumulátory, které umožňují vícenásobné vybíjení po obnovení kapacity nabíjením elektrickým proudem nebo napětím. Pokud je více článků navzájem spojených a uložených do jednoho tělesa, nazýváme tento zdroj baterií. Je však pravidlem, že se pojmy články a baterie příliš nerozlišují. V současnosti jsou nejvíce rozšířené a snadno dostupné čtyři hlavní typy nabíjecích baterií. Jsou to niklo - kadmiové (Nickel - Cadmium, NiCd), niklo - metal - hydridové (Nickel - Metal - Hydride, NiMH), olověné (Sealed Lead - Acid, SLA) a lithium - iontové (Lithium - Ion, Li - ion) baterie. Tato práce se bude věnovat jen prvním dvěma druhům článků.

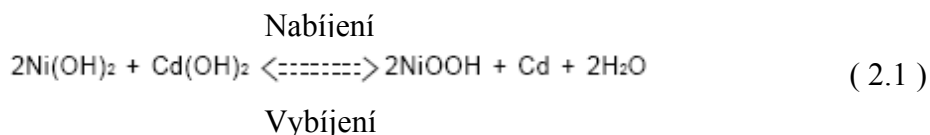
2.1 Akumulátory NiCd

Jedná se o jedny z nejvíce (dnes však již méně) používaných druhů akumulátorů. Tyto akumulátory jsou velmi spolehlivé, snadno použitelné a ekonomicky výhodné [2]. Mezi uživateli zůstávají populární pro realizaci mnoha elektrických a elektronických aplikací, které zdůrazňují nižší cenu při udržení dobrého výkonu.

2.1.1 Princip elektrochemické reakce

Jako u jiných akumulátorů, NiCd pracují na základě toho, že elektrochemická reakce v každé elektrodě je reciproká, to umožňuje opakovaně tyto baterie nabíjet a vybíjet.

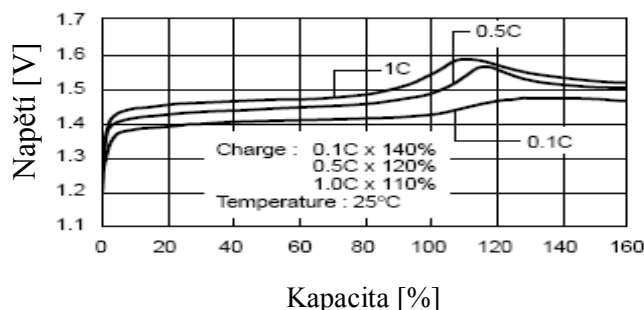
V kladné elektrodě, která je vytvořena z niklu, dochází při nabíjení k reakci hydroxidu nikelnatého s hydroxidovou skupinou, přičemž vzniká peroxid nikelnatý s vodou a elektrickým nábojem. Při vybíjení je tato reakce přesně obráceně. Na záporné elektrodě, která je vytvořena z kadmia, dochází při nabíjení k reakci hydroxidu kademnatého s dvěma elektrickými náboji, přičemž vzniká kadmium a hydroxidová skupina. Při vybíjení je tato reakce také přesně obráceně. Když se spojí dohromady vznikne celková reakce.



2.1.2 Proces nabíjení

Nabíjecí proces obnovuje schopnosti baterií, přičemž kapacita je ovlivněna proudem, teplotou okolí a časem. Základní princip je, že zvýšení nabíjecího proudu či napětí při stejné teplotě okolí vyvolá zvýšení potenciálu na obou elektrodách. Když je baterie plně nabitá, je dosaženo maximálního napětí, ale pokud je již přebíhá, nastane nepatrný pokles napětí. To je důsledkem zvýšení teploty kvůli exotermické kyslíkové rekombinační reakci.

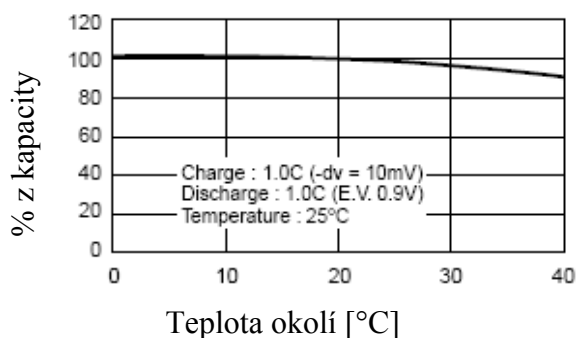
Díky tomu jevu uvnitř vznikne tlak. V uzavřených NiCd bateriích je vnitřní tlak navržen tak, aby během nabíjení zůstal v bezpečných úrovních, popřípadě aby bezpečně opustil baterii, ale to vede ke zkrácení životnosti baterií. Obecně nejúčinnější nabíjení je při nebo pod pokojovou teplotou, neboť chemikálie obou elektrod jsou více stabilní při nižší teplotě. Kapacita záporné elektrody se přemísťuje do kladné elektrody a přebytek kapacity je označován jako nabíjecí rezerva článku.



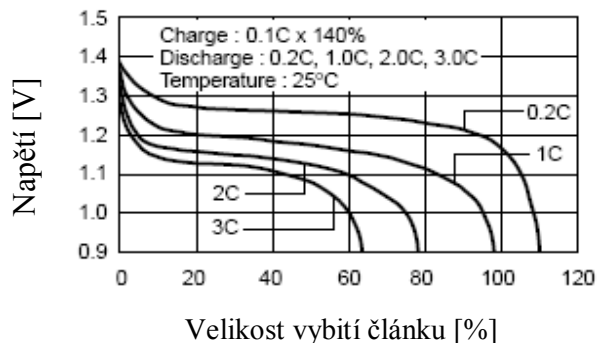
Obrázek 2.1 Nabíjecí charakteristiky NiCd akumulátorů

2.1.3 Proces vybíjení

U běžných NiCd akumulátorů je zbytkové napětí přibližně 1,2 V při kapacitě 20 %. Tato hodnota je ovlivněna vybíjecím proudem a teplotou okolí. Je všeobecně známo, že napětí s klesající teplotou klesá. Tedy zbytkové napětí je přímo úměrné teplotě okolí. To je dáno tím, že baterie pracují s tekutým elektrolytem, v němž ionty mají při nižší teplotě nižší pohyblivost. Při řízeném vybíjení je doporučené zbytkové napětí 1 V při vybíjecím proudu $0,2 \times$ kapacita akumulátoru (dále už jen C). Tento doporučený proces vede k regeneraci vlastností NiCd baterií. Pokud jsou však baterie příliš vybity (na nižší hodnotu než 1 V, hodnota se blíží k 0 V), může dojít k obrácení polarity, a tedy ke snížení životnosti baterií. Stane-li se to, v baterii se vyčerpá veškerý aktivní materiál a v záporné elektrodě dojde ke kyslíkové generaci. Tento jev může mít stejné následky jako u přebíjení, to znamená nebezpečně zvýšený tlak uvnitř baterií. Proto se doporučuje při vybíjení nepoklesnout pod hodnotu 1 V/článek. Pokud počet spojených článků převyšuje číslo 8, pak je doporučené udržovat hodnotu zbytkového napětí na 1,2 V/článek.

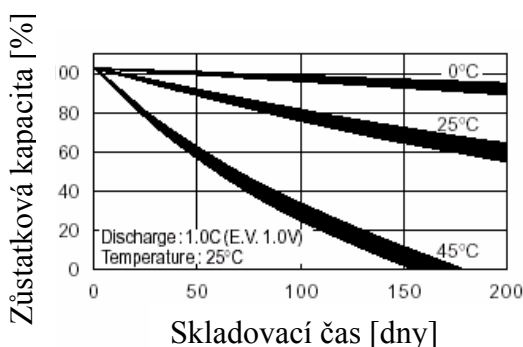


Obrázek 2.2 Závislost vybíjení na teplotě



Obrázek 2.3 Vybíjecí charakteristiky

Tyto baterie ztrácejí svou kapacitu i samovolně. Tomu se říká samovybíjecí proces, který je určen chemickými poměry uvnitř baterie. Hydroxid nikelnatý je relativně nestabilní a má sklon k přeměně do původního stavu. To není jedinou příčinou samovybíjení, neboť nečistoty uvnitř systému mohou oxidovat a tak urychlit zpětnou (vybíjecí) reakci. Dalším samovybíjecím faktorem je teplota uskladnění. Doporučená teplota je okolo nebo pod pokojovou teplotou. Dále se nedoporučuje skladovat baterie déle než jeden rok bez obnovování jejich parametrů.



Obrázek 2.4 Skladovací charakteristika

2.1.4 Charakteristická vlastnost – paměťový efekt

Akumulátory na bázi niklu mají jednu velice nevhodnou vlastnost, kterou je paměťový efekt. U NiMH se tento jev projevuje jinak než u NiCd, viz kap. 2.2.4 Paměťový efekt. U baterií typu NiCd je tento jev častý a velmi výrazný. Vzniká v důsledku reakce mezi niklem a kadmíem. K tomuto jevu dochází při opakovaném nabíjení z části ještě nabitých baterií. Poté si baterie „zapamatuje“ místo odkud se začala nabíjet. Poté se v tomto místě chová jako vybitá. Tento jev lze odstranit úplným vybitím baterie, to je na 1 V. Tento jev se daří odstraňovat i technologicky, a to menší koncentrací niklu v elektrodě z kadmia.

2.1.5 Druhy použití

V dnešní době se vyrábějí tři série podle druhu použití:

1. **Standardní série** – je určena pro širokou různorodost použití, mezi které patří např. hračky, kamery a osobní audio přehrávače.
2. **Vysokoteplotní série** – je určena pro aplikace, kde se může očekávat zvýšená teplota. Tato série zabezpečuje spolehlivost a stabilitu v nepříznivých podmínkách. Příkladem pro využití jsou nouzová osvětlení.
3. **Výkonová série** – je odborně zákaznický přizpůsobena pro silný odběr proudu (až 10 C). Příkladem použití jsou zdroje pro elektromagnetické motory pohánějící malé dopravní prostředky (kola, vozíky, koloběžky, atd.).

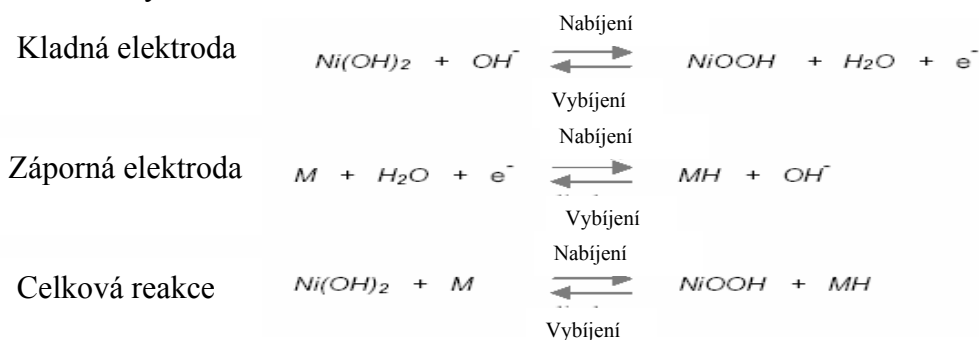
2.2 Akumulátory NiMH

Dnes nejvíce používané akumulátory pro běžné použití. Ač nejsou tak ekonomicky výhodné jako NiCd, získaly zcela dominantní postavení na trhu pro běžné uživatele [3]. Jejich kapacita razantně vzrostla a cena klesla, to bylo a je vyhovující pro majitele malých přenosných zařízení (např. digitální fotoaparáty a kamery, mobilní telefony, přenosné přehrávače a mnoho dalších).

2.2.1 Princip elektrochemické reakce

Úspěch této technologie přichází od prvků vzácných zemin, které tvoří vodíkově poutavé slitiny. Tyto slitiny, obvykle známé jako *Misch* kovy, jsou použity jako záporná elektroda a dále přispívají k vysoké koncentraci energií. To zvyšuje kapacitu v kladné elektrodě. Tento jev má za následek vyšší kapacitu a delší životnost než NiCd baterie.

Chemické reakce probíhající uvnitř baterie jsou velmi podobné bateriím NiCd. Reakce na kladné elektrodě probíhá úplně stejně, neboť i zde je kladná elektroda tvořena niklem. Na záporné elektrodě dochází k reakci slitiny kovů s vodou a nabitou částicí, přičemž vznikne hydroxid slitiny a hydroxidová skupina; při vybíjení samozřejmě naopak. Částečné i celkové reakce jsou uvedeny na obr. 2.5.



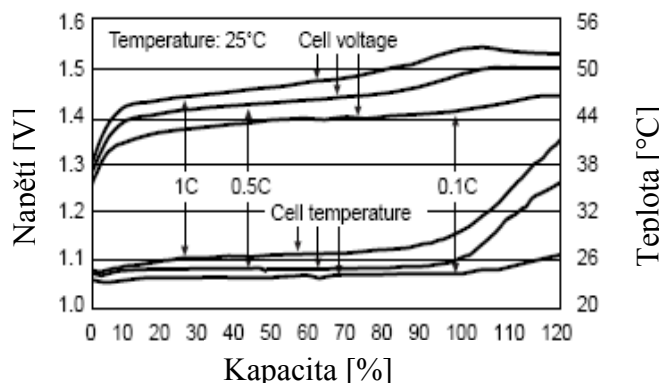
Obrázek 2.5 Chemické reakce

2.2.2 Proces nabíjení

Samotný proces nabíjení je velmi podobný NiCd akumulátorům, ale tyto baterie nemají charakteristický nárůst a pokles napětí při dosažení 100 % kapacity. Jak je vidět na obr. 2.6, minimální nárůst zde existuje, ale oproti NiCd akumulátorům je zanedbatelný.

U nabíjení je nutné si zvolit vhodnou teplotu, vybrat co nejlepší nabíjecí charakteristiku a hlavně hlídat teplotu, jelikož nabíjení je reakce exotermická. U těchto baterií je nutné dávat si velký pozor na přehřívání, neboť k němu může dojít velmi snadno. I když jsou tyto akumulátory navrženy s kyslíkovým rekombinačním mechanismem, který zpomalí nahromadění tlaku při přehřívání, má přehřívání vliv na chemickou reakci v kladné elektrodě, kde přestane reagovat hydroxid nikelnatý s hydroxidovou skupinou a začne se vytvářet kyslík. Tento kyslík putuje k záporné elektrodě, kde reaguje s vodíkem na vodu. Pokud je generace

kyslíku rychlejší než reakce s vodíkem, vznikne v baterii nadměrný kyslíkový tlak. Tento tlak může mít za následek únik kyslíku bezpečnostním otvorem. To znamená snížení kapacity a doby života akumulátorů.

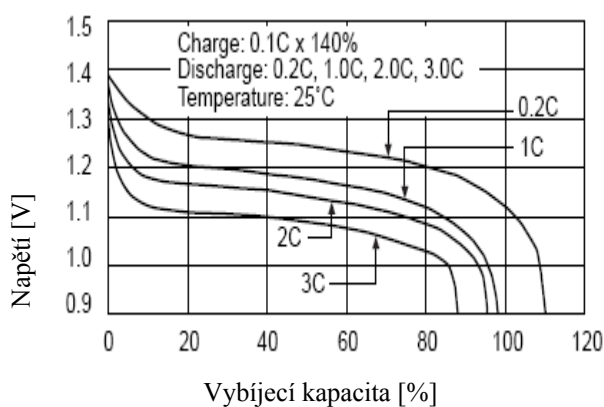


Obrázek 2.6 Nabíjecí charakteristika

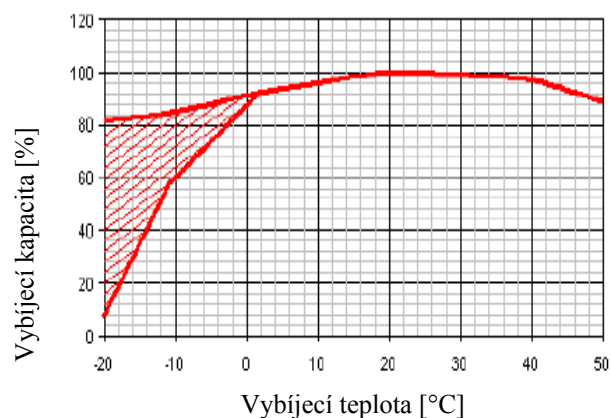
2.2.3 Proces vybíjení

Vybíjení závisí na mnoha faktorech. Tyto faktory zahrnují kapacitu, napětí, vybíjecí rychlost, vnitřní odpor a teplotu.

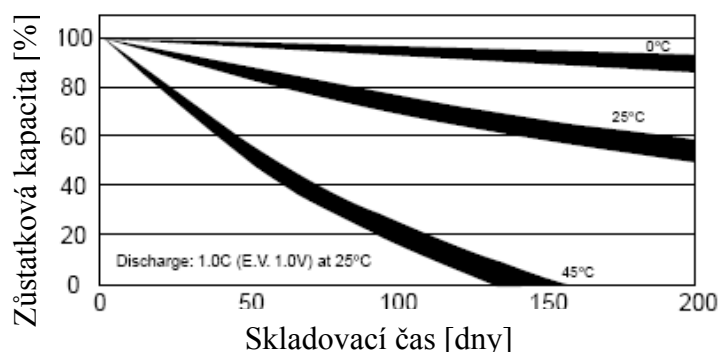
Návrháři se nejvíce zajímali, jak dlouho bude baterie schopna napájet dané zařízení s konstantním odběrem. Zjistili, že čas je přímo úměrný kapacitě a vybíjecí rychlosti, přičemž kapacita je dána konstantním vybíjecím proudem za čas, než se baterie dostane na koncové napětí. Většina lidí si myslí, ale mylně, že výkon baterií je dán kapacitou. To by platilo jen tehdy, pokud by byly přesně dodrženy testovací podmínky, kterými jsou teplota, nabíjecí i vybíjecí rychlost a množství článků v baterii (rozdíly napětí na jednotlivých člancích). Při vybíjení dochází k endotermickým reakcím, a proto je zapotřebí udržovat nejlépe pokojovou teplotu. To souvisí i se skladováním, neboť NiMH mají velkou samovybíjecí rychlost, a proto se doporučuje skladovat tyto baterie při teplotách blízkých 0 °C. Jednotlivé charakteristiky jsou uvedeny níže.



Obrázek 2.7 Vybíjecí charakteristika



Obrázek 2.8 Závislost vybíjení na teplotě



Obrázek 2.9 Skladovací charakteristika

Při vybíjení je nutné stejně jako u NiCd baterií dodržovat určité doporučené podmínky týkající se zbytkového napětí. Při nedodržení může dojít k rychlému znehodnocení baterií. U těchto baterií dochází k nahrazení vodíku kyslíkem, přičemž vodík je tlakem vypouštěn přes bezpečnostní otvor pryč. To má za následek ztrátu kapacity akumulátorů. Doporučené hodnoty zbytkového napětí jsou rozděleny do dvou skupin:

- Pro 1 – 6 článků v sérii je doporučeno zbytkové napětí 1 V na článek.
- Pro 7 – 12 článků je zbytkové napětí dáno vztahem $[1,15 \text{ V} * (n - 1)] - 200 \text{ mV}$, kde n je počet článků.

2.2.4 Paměťový efekt

Stejně jako NiCd akumulátory i tyto mají paměťový efekt, který vzniká při opakovaném nabíjení ne zcela vybitých akumulátorů. Zde se tento efekt projevuje poklesem napětí v nabitém stavu. Stejně jako u NiCd baterií lze i zde tento paměťový efekt odstranit vybitím akumulátorů na hraniční zbytkové napětí.

Tabulka 2.1 Srovnání vlastností různých typů akumulátorů podle [8].

Charakteristika baterie	SLA	NiCd	NiMH	Li-Ion
Energetická hustota [Wh/kg]	30	40	60	90
Energetická hustota [Wh/l]	60	100	140	210
Pracovní napětí na jeden článek [V]	2	1,2	1,2	3,6
Profil vybíjení	pomalu klesající	plochý	plochý	klesající
Počet nabíjecích cyklů	500	1000	800	1000
Samovybíjení [% / měsíc]	3	15	20	6
Vnitřní odpor	malý	nejmenší	střední	největší
Maximální rychlost nabíjení	menší než 5 C	větší než 10 C	menší než 3 C	menší než 2 C

3 Způsoby nabíjení akumulátorů

Základním kritériem, podle kterých se nabíječe rozlišují, jsou jejich charakteristiky [4]. Podle těchto charakteristik jsou voleny způsoby nabíjení. Jednotlivé způsoby se mohou kombinovat.

3.1 Nabíjecí charakteristika typu U

Tato charakteristika počítá s nabíjením konstantním napětím. Po připojení vybitého akumulátoru k nabíječi začíná nabíjení velkým počátečním proudem. Ten způsobuje rychlé ohřátí elektrolytu. Velikost konstantního napětí má být nastavena na plynovací napětí nabíjeného akumulátoru s poměrně velkou přesností, která je alespoň 1 %. Tento způsob nabíjení umožňuje nabíjet větší množství baterií o stejném svorkovém napětí zapojených paralelně. U těchto typů nabíječe je nutné dát pozor, aby nedošlo ke zkratu na svorkách, nebo k připojení vadného akumulátoru. Nabíječ je nutné jistit proti velkému proudu, který by mohl takto vzniknout.

Pro nabíjení NiCd a NiMH akumulátorů se tento typ dá použít, přičemž se zvolí konstantní napětí 1,65 V až 1,72 V na článek. Tento způsob nabíjení uvedených akumulátorů není příliš výhodný, ale je v praxi celkem hodně využíván právě kvůli jednoduchosti a možnosti nabíjení více článků najednou bez jakéhokoli nastavování či změny parametrů nabíječe.

3.2 Nabíjení charakteristikou typu I

Tyto nabíječe pracují na principu nabíjení konstantním proudem. Oproti typu U mají mnoho výhod, ale samozřejmě i nějaké nevýhody. Mezi jednoznačné výhody patří zkratuvzdornost. Dále lze snadno zjistit množství energie dodané do akumulátorů, jelikož je to násobek nabíjecího proudu a času nabíjení. K samočinnému odpojení nabíječe lze použít časový spínač. Nevýhodou je větší doba nabíjení, to však lze odstranit tzv. rychlým nabíjením. V dnešní době jsou moderní obvody určené pro nabíjení akumulátorů NiCd a NiMH konstruovány výhradně pro nabíjecí charakteristiku typu I.

3.3 Nabíjení charakteristikou typu W

Typická charakteristika W se vyznačuje tím, že se zvyšujícím svorkovým napětím na akumulátoru během nabíjení se úměrně zmenšuje nabíjecí proud. Této charakteristiky se dosahuje u většiny nabíječů tím, že se do sekundárního nebo primárního obvodu transformátoru zařazuje omezující impedance. Nabíječe s touto charakteristikou jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Pro různé druhy akumulátorů a optimální nabíjení je vhodný různý sklon charakteristiky W, takže lze takové nabíječe těžko konstruovat jako univerzální bez možnosti přepínání odboček transformátoru či impedancí. Používání nabíječe s charakteristikou W vyžaduje větší dohled během nabíjecího cyklu. Je zpravidla nutné, aby byl nabíječ vybaven

kontrolním ampérmetrem. V podstatě by se dalo říct, že je to kombinace předchozích dvou typů, přičemž převládají nevýhody typu U.

3.4 Dobíjení článku nesymetrickým střídavým proudem

Akumulátor bývá nabíjen proudem, který má takový charakter, že po každém časovém intervalu, v kterém se akumulátor nabíjí, následuje časový interval, kdy se akumulátor částečně vybíjí. Tato metoda má určité přednosti proti trvalému nabíjení stejnosměrným proudem nebo pulzujícím proudem. Má neobvykle velkou účinnost, protože se tímto nabíjením depolarizují elektrody.

Dále lze rozdělit nabíjení podle rychlosti dosažení žádané kapacity, a s tím i související velikost nabíjecího proudu. Toto rozdělení je upravené podle [1]

- standardní nabíjení (Overnight Charge) – nejběžněji používané nabíjení proudem C/10 po dobu 15 h,
- zrychlené nabíjení (Quick Charge) – při tomto nabíjení se doba zkrátí na 3 až 9 hodin,
- rychlé nabíjení (Fast Charge) – nabíjení trvá 1 hodinu i méně,
- koncové dobíjení (Top off Charge) – slouží k doplnění baterie na 100 % kapacity po rychlém dobíjení (V literatuře je uvedena analogie, která srovnává koncové dobíjení s ručním doplněním nádrže automobilu poté, co čerpadlo automaticky vypne. Paliva bude více, ale musí být zajištěna větší opatrnost.),
- kapkové dobíjení (Constant Trickle) – je to udržovací nabíjení, které nahrazuje úbytek kapacity samovybíjením, někdy doplní kapacitu po rychlém nabíjení místo koncového dobíjení. U NiCd jde o proud asi C/16 u NiMH jde o C/50,
- pulsní kapkové dobíjení (Pulse Trickle Charge) – zde se snižování proudu dociluje malou střídou proudových impulsů.

Tabulka 3.1 Možnosti nabíjení akumulátorů NiCd a NiMH

Způsob	Nabíjecí proud [násobek CA]	Doba nabíjení [h]	Doporučená teplota okolí [°C]		Kontrola nabíjení
			NiCd	NiMH	
udržovací	0,02 až 0,1 NiCd max. 0,025 NiMH	neomezena	5 až 45	10 až 35	není nutná
normální	0,05 0,01	36 až 48 14 až 20	10 až 35	0 až 45	postačuje časový spínač
zrychlené	0,2 0,25 0,33	7 až 9 5 až 7 3 až 5	10 až 35	10 až 45	postačuje časový spínač
rychlé	1 2 4	1,2 0,6 0,3	10 až 35	10 až 45	nutná

V tab. 3.1 lze najít základní možnosti a podmínky nabíjení, podle kterých lze jednoduše určit typ nabíjecí charakteristiky, způsob nabíjení a způsob zakončení nabíjení.

4 Možnosti ukončení nabíjení

U těchto typů akumulátorů je několik možností ukončení nabíjení, které se odvíjí i od nabíjecí charakteristiky neboli od způsobu nabíjení akumulátorů [1].

4.1 Podle sklonu nabíjecí charakteristiky

Daný obvod, zajišťující tento typ ukončení, musí obsahovat převodník A/D, který dokáže rozlišit rozdíl vstupního napětí o hodnotě 2,5 mV. Tento převodník provádí odečet napětí akumulátorů v různých časech. Toto měření vyhodnocuje, zdali napětí roste, nemění se či klesá. Vzorkovací perioda převodníku je většinou dána časem nabíjení.

4.2 Po dosažení zvolené teploty

Tento způsob je založen na porovnávání teploty akumulátorů a teploty okolí pomocí termistorů. Tato metoda, někdy zvaná jako blokovací, dokáže zjistit podchlazený i přehřátý akumulátor a při těchto krajních stavech blokovat nabíjení. Metoda není vhodná pro nabíjecí charakteristiku typu U, kdy dochází k rychlému nárůstu teploty elektrolytu. Také není moc vhodná při nabíjení většího počtu akumulátorů, které nejsou v jednom celku, protože měření volných článků je technicky náročné a nepřesné. Přesnost tohoto měření je obecně snížena nutností co nejlepššího tepelného styku s akumulátorem.

4.3 Po uplynutí nastaveného času

Tato metoda je jednoduchá a vyžaduje pouze časovač. Je nejvhodnější pro nabíjení podle charakteristiky typu I, jelikož lze jednoduše zjistit, jaký čas bude potřeba při nabíjení akumulátoru o známé kapacitě známým proudem. Tato metoda bývá často používána jako doplňková metoda k předchozím dvěma metodám, protože má jistící charakter.

5 Obvody pro nabíjení

Obvodů pro nabíjení existuje celá řada od obyčejných napěťových stabilizátorů přes logické integrované obvody až k obvodům, které dokáží komunikovat s SMB sběrnici. Zde se bude jednat o obvody, které jsou zcela autonomní a přece pracující jako mikrokontroléry. Touto problematikou se také zabývá celá řada světově uznávaných výrobců, mezi které patří firmy National Semiconductor, Linear Technology, Maxim, Temic, Motorola a Unitrode.

6 Postup návrhu nabíječky

Jak bylo napsáno v úvodu, úkolem bylo vymyslet takový přístroj (nabíječku), aby splňoval požadované parametry.

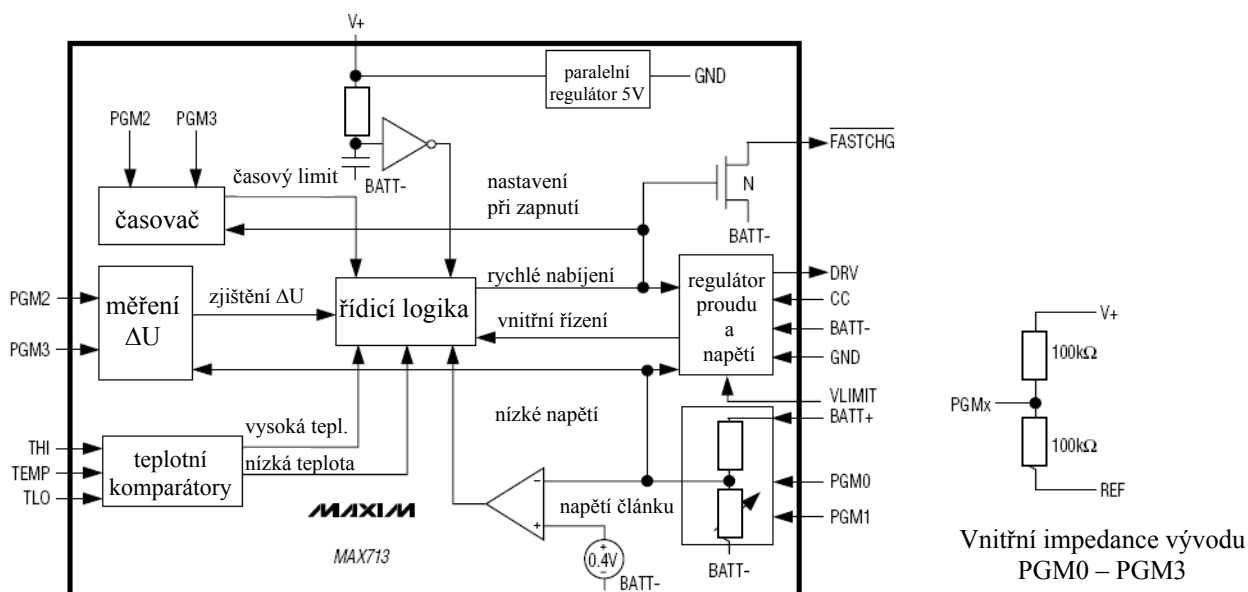
6.1 Volba metody nabíjení a nabíjecího obvodu

Pro vypracování první části práce bylo zvoleno nabíjení konstantním proudem. Pro toto nabíjení, po dlouhém hledání vhodného a hlavně dostupného obvodu, byl nakonec zvolen obvod firmy MAXIM, MAX713. Pro řízení nejen tohoto obvodu, ale i celé nabíječky s LCD displejem, byl vybrán mikrokontroler firmy Atmel 89C52. Je možné nabíjet dvěma maximálními proudy 0,5A a 1A, a to dva nebo čtyři akumulátory. Nabíječka pracuje kvůli menším tepelným ztrátám ve spínaném režimu.

6.2 Volba hlavních součástí obvodu (MAX 713)

Tento obvod je určen k rychlému nabíjení článků NiCd a NiMH ze zdroje ss napětí [1]. Obvod umožňuje nabíjet 1 až 46 článků proudem $C/2$ až $4C$. Ukončení rychlého nabíjení nastane, když

- převodník A/D obvodu zjistí tvar nabíjecí charakteristiky na základě hodnoty $\Delta U/\Delta t < 0$,
- bude-li teplota článku nebo bateriové sady mimo povolený interval teplot,
- uplyne-li uživatelem nastavená doba nabíjení.

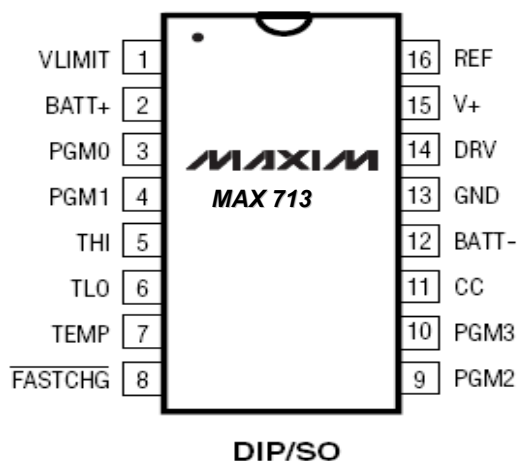


Obrázek 6.1 Blokové schéma MAX 713

Obvod MAX 713 obsahuje paralelní regulátor o hodnotě 5 V pro napájení elektroniky uvnitř IO, ale i pro nastavení jednotlivých funkcí obvodu. Dále je zde časovač, pomocí kterého se nastavuje maximální doba nabíjení (může sloužit i jako pojistka při selhání ostatních ukončovacích mechanismů). Tento časovač je řízen vstupy PGM2 a PGM3. Vstupy PGM2 a PGM3 jsou také použity ke správnému měření ΔU . Nedílnou součástí jsou teplotní komparátory, které mohou zjišťovat stav akumulátoru podle teploty. Pro správnou funkci je zapotřebí mít i regulátor proudu a napětí. To vše je úzce spojeno s řídicí logikou, která ovládá celý IO. Blokové schéma obvodu a způsob zapojení vstupů PGMx lze nalézt na obr. 6.1.

Obvod MAX713 je vždy v jednom ze dvou možných stavů: rychlé nabíjení nebo kapkové dobíjení. Do režimu kapkového dobíjení přejde obvod po ukončení rychlého nabíjení automaticky. Maximální doba trvání cyklu rychlého nabíjení je závislá na připojení programovacích vstupů PGM3 a PGM2. Kombinací propojení vstupů PGMx podle tab. P15.2 je možno nastavit nabíjecí časy od 22 do 264 minut a počet nabíjených akumulátorů. Velikost maximálního proudu do baterie při rychlém nabíjení může být nastavena velikostí odporu snímacího rezistoru RS mezi vstupem BAT- a svorkou GND. Na rezistoru vzniká úbytek napětí 250 mV. Pokud je na rezistoru RS toto napětí menší, proud na výstupu DRV se zvětší, při zvětšení napětí na snímacím rezistoru se budicí proud zmenší. Tak je udržována konstantní velikost nabíjecího proudu. Proud rychlého nabíjení (FAST) je vhodné volit v krocích C/2, C, 2C nebo 4C. Tím je automaticky zajištěna velikost proudu C/16 při kapkovém dobíjení. Jiné velikosti nabíjecího proudu mohou být v případě potřeby samozřejmě použity, ale proud při kapkovém dobíjení neodpovídá velikosti C/16. K indikaci stavu nabíjecího cyklu je možno použít výstup logické úrovně obvodu, na který lze připojit dvě indikační svítivé diody LED s barevným odlišením. Dioda LED1 svým svitem indikuje zapnutou nabíječku a dioda LED2 probíhající cyklus rychlého nabíjení. Pro další možnosti indikací lze použít daný logický signál zpracovaný například mikrokontrolerem.

Zapojení a popis vývodů daného obvodu je na obr. 6.2 a v tab. P15.1.



Obrázek 6.2 Rozložení vývodů IO MAX713

6.2.1 Postup při návrhu nabíječe s MAX713

Použitím MAX713 nabíječ umožňuje rychlé nabíjení v lineárním nebo spínaném režimu. Návrh lze shrnout do několika ucelených kroků. Lineární nabíječ potřebuje méně součástek, přičemž při nabíjení může baterie napájet zátěž. Spínaný nabíječ je vhodným řešením, pokud je požadavkem větší nabíjecí proudy s menšími teplotními ztrátami.

- a) Podaří-li se zjistit tyto teplotní ztráty, je vhodné respektovat doporučení výrobce baterie týkající se maximálního nabíjecího proudu a kritéria pro ukončení rychlého nabíjení. Všeobecné pokyny obsahuje tab. 6.1.

Tabulka 6.1 Kritéria pro ukončení rychlého nabíjení

Nabíjecí proud	Baterie NiMH	Baterie NiCd
$> 2C$	$\Delta U/\Delta t$ a teplota	$\Delta U/\Delta t$ nebo teplota
$2C$ až $C/2$	$\Delta U/\Delta t$ nebo teplota	$\Delta U/\Delta t$ nebo teplota
$< C/2$	$\Delta U/\Delta t$ nebo teplota	$\Delta U/\Delta t$ nebo teplota

- b) Zvolí se nabíjecí proud. Minimální proud pro rychlé nabíjení je $C/3$. Nabíjecí proud v mA se určí z kapacity v mAh

$$I_F = \frac{\text{kapacita baterie v [mAh]}}{\text{nabíjecí doba v [h]}} \quad (6.1)$$

Nejdelší programovatelná doba podle tab. P15.2 je 264 min. To by napovídalo, že baterii lze nabíjet proudem $C/4$. Protože přeměna elektrické energie na chemickou probíhá s účinností, která může být i okolo 80 % (u NiMH i menší), nestačí nabíjet baterii proudem $C/4$ po dobu 4 h, ale $4 \text{ h} \times 100/80 = 5 \text{ h}$. Vzhledem k maximální možné době nabíjení je tedy nejmenší proud rychlého nabíjení s časovým ukončením $C/3$.

- c) Dále je nutné rozhodnout jaký počet akumulátorů se má nabíjet. Když by došlo ke změně, je třeba to respektovat připojením vývodů PGM0 a PGM1 ve smyslu údajů podle tab. P15.2. Pokud by se nabíjelo více či méně článků, než by bylo naprogramováno, může být znemožněno ukončení rychlého nabíjení na základě sklonu nabíjecí charakteristiky, která je zjišťována pomocí interního převodníku A/D, jehož rozsah je omezen na napětíové okénko 1,4 V až 1,9 V. Uvnitř obvodu musí být napětí získané vydělením napětí nabíjené baterie počtem jejích článků.
- d) Vybere se pro nabíječ vhodný zdroj vstupního napětí, kterým může být síťový adaptér. Jeho minimální napětí (s respektováním jeho zvlnění) musí být alespoň o 1,5 V,

případně o 2 V při využití spínaného režimu, větší než maximální napětí baterie během nabíjení.

- e) Pokud nabíječ pracuje v lineárním režimu, zjistí se největší ztrátový výkon vznikající v regulačním tranzistoru T1 a diody D1, kde U_{INMAX} je maximální vstupní napětí při zátěži, U_{BATMIN} minimální napětí baterie při použitém nabíjecím proudu I_F

$$P_{TMAX} \approx (U_{INMAX} - U_{BATMIN}) \cdot I_F \quad (6.2)$$

V diodě, na níž je úbytek napětí asi 0,7 V, činí ztráta

$$P_{DMAX} \approx 0,7 \cdot I_F \quad (6.3)$$

Proto je nutné použít rozměrnější chladič nebo přejít do spínaného režimu.

- f) Ať už pracuje nabíječ jako lineární nebo spínaný, je třeba omezit proud do vývodu $U+$ na 5 mA až 20 mA. Odpor rezistoru R1 je proto zvolen podle vzorce

$$R1 = (U_{INMIN} - 5) / 0,005 \quad (6.4)$$

Pokud vstupní napětí kolísá ve velkém rozsahu, je vhodné napájet vývod $U+$ zdrojem proudu pomocí speciální diody s proudovým omezením.

- g) Je třeba nalézt vhodný odpor snímacího rezistoru, který udává velikost maximálního nabíjecího proudu I_F

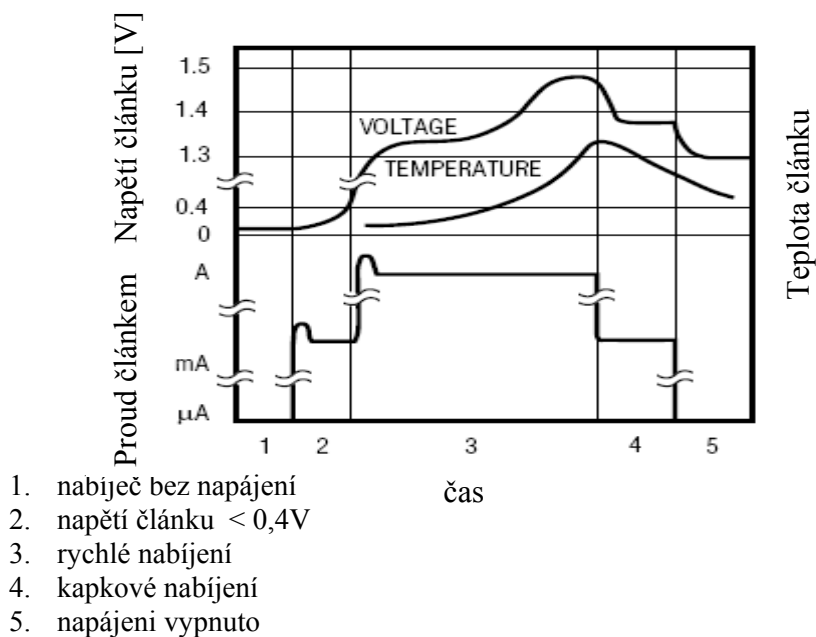
$$R_{SENSE} = 0,25 / I_F \quad (6.5)$$

- h) Jako pojistku lze nastavit interní časový spínač podle tab. P15.2 na 1,5 až dvojnásobek doby nabíjení, tedy např. pro $I_F = C / 2$ na 3 až 4 hodiny.

6.2.2 Popis funkce

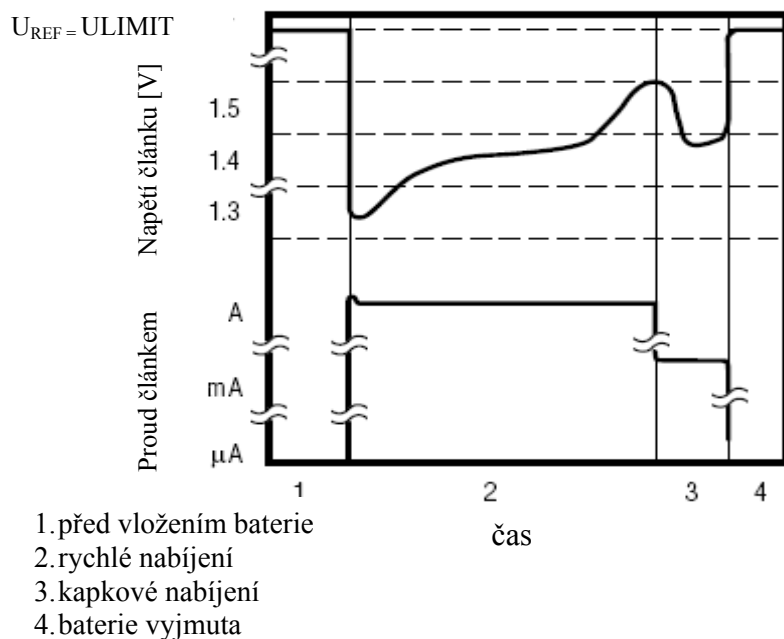
Obvod MAX713 dodává v režimu rychlého nabíjení do baterie NiCd nebo NiMH konstantní proud a při detekci plného nabití pokračuje nabíjení kapkovým proudem. Pro zjištění plného nabití baterie sleduje obvod tři veličiny – sklon nabíjecí charakteristiky ($\Delta U / \Delta t$), tedy závislost napětí baterie na čase v průběhu nabíjení, teplotu baterie a dobu nabíjení. Typický průběh nabíjení je na obr. 6.3. Baterie je vložena do nabíječe ještě před zapnutím napájení nabíječe. Obvod v době 1 zatěžuje akumulátor nepatrným proudem. Po připojení zdroje k U_{IN} na začátku doby 2 vzniká vnitřní nastavovací signál na log. úrovni L, který zapne kapkové nabíjení. Když přejde nastavovací signál do stavu H, a jestliže je napětí připadající na jeden článek vyšší než minimální hodnota článku $UVLO = 0,4$ V, začne fáze rychlého nabíjení označená jako doba 3.

Když nabíjecí charakteristika začne klesat ($\Delta U / \Delta t < 0$), rychlé nabíjení je ukončeno a obvod se vrátí na dobu 4 k nabíjení kapkovým proudem. Po vypnutí napájení je v době 5 odběr z baterie znovu jen minimální.



Obrázek 6.3 Typický průběh a ukončení rychlého nabíjení podle $\Delta U/\Delta t$

Může nastat i případ, kdy je dříve zapnuto napájení než vložená baterie. Potom průběh nabíjení vypadá trochu jinak, jak je vidět na obr. 6.4. Během doby 1 (bez baterie), je výstupní napětí nabíječe udržováno na hodnotě $U_{\text{LIMIT}} \times \text{počet článků}$. Po vložení baterie (doba 2) řídicí obvod zjistí průchod proudu do baterie a zapne rychlé nabíjení. Je-li zjištěno plné nabití baterie, dojde k přepnutí na kapkové nabíjení (doba 3). Po vyjmutí baterie na začátku doby 4 se situace vrátí do stavu odpovídající době 1.



Obrázek 6.4 Průběh nabíjení při vložení baterie do napájeného nabíječe

6.2.3 Rychlé a kapkové nabíjení

Několikrát byly v textu uvedeny pojmy „rychlé“ a „kapkové“ nabíjení. Nyní by bylo dobré tyto pojmy vysvětlit a uvést, kdy tyto situace nastávají a s jakými proudy lze při těchto stavech počítat.

Rychlé nabíjení je zahájeno tehdy, je-li v nabíječi vložen akumulátor a zároveň přivedeno napájecí napětí, nebo když je za přítomnosti napájení vložen akumulátor, viz kap. 6.2.2 Popis funkce. Maximální proud rychlého nabíjení je určen odporem snímacího rezistoru R_{SENSE} . V režimu rychlého nabíjení je regulační smyčkou udržován na R_{SENSE} úbytek napětí 250 mV. Když úbytek začne klesat, zvýší se proud odváděný vývodem DRV, tranzistor T1 se více otevře a zvýšením proudu do baterie se úbytek na rezistoru vrátí zpět na 250 mV. Naopak při nárůstu úbytku se snížením proudu do DRV T1 přivře, aby byla rovnováha obnovena. Pro proud rychlého nabíjení platí

$$I_F = 0,25 / R_{SENSE} \quad (6.6)$$

Kapkové dobíjení je spuštěno po ukončení rychlého nabíjení proudem, který je odvozen od velikosti proudu rychlého nabíjení a také od způsobu zapojení PGM3 viz tab. 6.2.

Tabulka 6.2 Určení proudu kapkového nabíjení zapojením vývodu PGM3

PGM3 spojen s	Proud rychlého nabíjení I_F	Kapkový nabíjecí proud I_T
U+	4C	$I_F/64$
naprázdno	2C	$I_F/32$
REF	C	$I_F/16$
BATT-	C/2	$I_F/8$

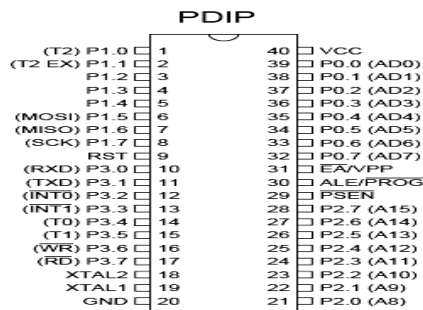
Proud kapkového nabíjení je odvozen od proudu rychlého nabíjení, a proto se nelze vždy přesně držet této tabulky.

6.2.4 AT89C52 [3], [4]

Při volbě mikrokontroleru (dále už jen uC) bylo bráno v úvahu několik faktorů, cena obvodu, cena jeho programátoru či překladače. Hlavním požadavkem se stala dostupnost všech prvků potřebných ke konečné realizaci kompletního obvodu. Nejprve byl podle poměru cena/výkon vybrán uC řady MCS51. Do této řady patří uC s jádrem C51 (C52) vyvinutým v 80. letech minulého století nebo jeho pozdější zlepšení ve formě jádra S51 (S52). Tyto procesory vyrábějí a nejvíce dodávají na trh firmy Intel, Philips, Siemens, Dallas a Atmel. Při rozhodování byla nejdůležitější dostupnost. Jelikož byl k dispozici programátor i překladač pro procesory Atmel zdarma, byl vybrán mikrokontrolér firmy Atmel, i když nejsou tak rychlé a výkonné jako např. od firmy Dallas. Dále bylo požadováno pouzdro typu PDIP, jelikož programátor, který byl k dispozici, je vyroben rovněž pro pouzdra tohoto typu. Tento typ pouzdra i s popisem vývodu je vyobrazen na obr. 6.5.

Byl vybrán AT89C52, který disponuje jádrem C52. To oproti klasickému jádru C51 má několik vylepšení

1. rozšířená interní RAM o 128 bytů,
2. třetí časovač/čítač,
3. rozšířená paměť programu FLASH EPROM na 8 kB.



Obrázek 6.5 Typ pouzdra PDIP s popisem zapojení vývodů

6.2.5 LCD display MC1602B

Při výběru zobrazovací jednotky bylo opět porovnáno několik kritérií. Na rozdíl od mikrokontroléru, zde nehrála cena tak velkou roli. Hlavně bylo uvažována možnost zobrazování nejen klasických písmen a čísel. Z tohoto důvodu byly vyloučeny klasické sedmisegmentové zobrazovače, a v úvahu přišly LCD displeje. Ty jsou dvou základních typů, a to znakové či barevné. Barevný displej by se pro tyto aplikace plně nevyužil, a proto byl zvolen pouze znakový displej. Dále bylo potřeba zvolit správný počet znaků na jeden řádek a počet řádků. Po dlouhém zkoumání byl nakonec zvolen kompromis mezi rozměry displeje a počtem znaků a řádků. Podle tohoto kompromisu byl upřednostněn dvouřádkový displej se šestnácti znaky na řádku. Pak již přišlo na řadu zvolit správný typ. Zde hrála velkou úlohu cena a barva zobrazované oblasti.

Nakonec byl vybrán displej s bílým zobrazením na modrém podkladu s tím, že má vlastní podsvícení. Tento displej je uváděn (v GM electronic) pod označením MC1602E - SBL/H. Na obr. 6.6 je znázorněno jak daný displej vypadá.



Obrázek 6.6 Vzhled displeje

Od této myšlenky bylo sice posléze upuštěno, ale prvky zůstaly zachovány s tím, že lze v budoucnu tuto nabíječku modifikovat na větší nabíjecí proudy pouze změnou snímacího rezistoru R_{SESE} . Dále byl do zapojení implementován vybíjecí obvod, který v závislosti na řídicím obvodu dokáže vybit akumulátor na požadovanou hodnotu.

Tento obvod je složen ze dvou rezistorů a jednoho NPN tranzistoru. Tento tranzistor (Q4) slouží jako spínač a rezistor R6 vytváří vybíjecí odpor. Druhý rezistor tohoto vybíjecího obvodu slouží jako zdroj proudu k buzení báze NPN tranzistoru. Ostatní součástky již přímo ovlivňují funkci obvodu, nebo určují nabíjecí parametry. Rezistor R_{OMEZ} zajišťuje potřebný proud pro napájení obvodu MAX713 a zamezuje překročení tohoto proudu. Rezistory R3 a R4 slouží jako náhrada za termistory, aby na daných pinech obvodu bylo potřebné napětí. Rezistor R2 určuje potřebný proud do vývodu DRV pro sepnutí bipolárních tranzistorů.

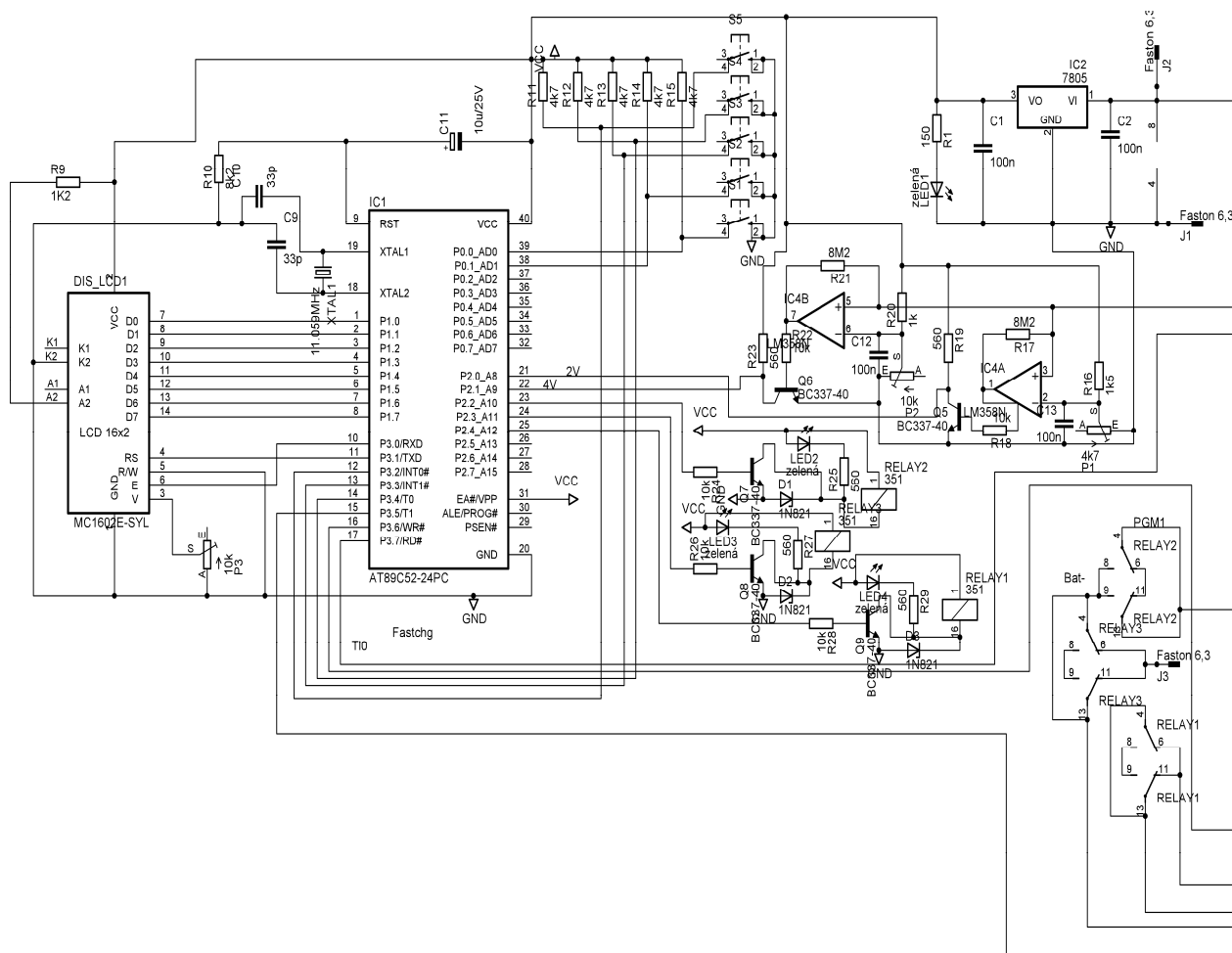
Rezistory R7 a R8 určují velikost nabíjecího proudu. Stačil by pouze jeden, ale v tomto návrhu se počítá s přepínáním maximálního nabíjecího proudu, proto jsou zde uvedeny dva. Kondenzátory zde zajišťují, kromě kondenzátoru C7, blokování a filtraci napětí či proudu, k zmenšení zvlnění obvodových veličin. Jen kondenzátor C7 slouží pro nastavení proudové smyčky udržující konstantní nabíjecí proud. Bipolární tranzistory Q2 a Q3 slouží k rychlejšímu vybíjení a nabíjení parazitních kapacit při spínání výkonového MOS-FET tranzistoru. Tento tranzistor (Q1) pracuje ve spínaném režimu. Cívka a Schottkyho diody usměrňují a vyhlazují střídavý proud dodávaný výkonovým tranzistorem.

7.1.2 Část řídicí

Tato část, jak sám název napovídá, obsluhuje a řídí nabíjecí část tím, že komunikuje s obsluhou a usnadňuje jí práci. Zapojení lze vidět na obr. 7.2. Tento návrh byl nejvíce obměňovanou částí schématu, protože z literatury [5] byl pouze zjištěn způsob připojení krystalu k mikrokontroléru a zapojení jeho resetu.

Nad některými částmi bylo dlouho rozvažováno, zdali mohou být takto zapojeny, jelikož například port P0 má jiné strukturální zapojení než ostatní porty, a proto je taky nazýván pravým vstupně/výstupním portem.

Ostatní porty podle [5] jsou jen pseudo vstupně/výstupní. Dále byl řešen problém se spínáním snímacích rezistorů pro změnu nabíjecího proudu. Nejprve bylo počítáno s polovodičovými spínači. Bylo však zjištěno, že jejich odpor v sepnutém stavu několikanásobně překračuje hodnotu daných snímacích rezistorů. To by znamenalo velké ovlivnění nabíjecí části. Proto bylo posléze pro toto spínání zvoleno klasické jazýčkové relé, které tento přechodový odpor nemá zanedbatelný, ale lze ho zahrnout do konečné hodnoty tak, aby neovlivňoval funkci nabíjení. Dále byl zjišťován způsob připojení daného LCD displeje a jeho celková komunikace.



Obrázek 7.2 Schéma řídicí části.

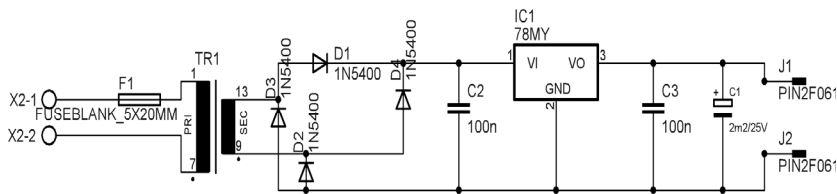
Nejmenším problémem bylo navrhnout komparátory určující vybitý stav akumulátorů pomocí jednoduché a efektivní varianty s jedním obyčejným operačním zesilovačem a několika pasivními součástkami. Rezistory tvoří buď odporový dělič určující spínané napětí, nebo jsou nutné pro správnou funkci operačního zesilovače. Bipolární tranzistory jsou zde jen proto, aby byla na výstupu zaručena logická nula (0 V) nebo logická jednička (5V). Připojení tlačítek s nestandardním rozmístěním v zapojení na procesor bylo upraveno při návrhu desky plošných spojů z důvodu lepšího návrhu.

7.1.3 Celkové schéma

Celkové schéma je dáno spojením nabíjecí a řídicí části. Z důvodu dobrého rozlišení bylo nutné schéma dostatečně zvětšit, a proto je umístěno na samostatném listu viz obr. P15.1.

7.1.4 Část napájecí

Jak již dříve bylo uvedeno, tato část je zcela autonomní a má za úkol pouze dodávat konstantní napětí 12 V s proudovým zatížením do 2 A. Schéma zapojení je uvedeno na obr. 7.3.



Obrázek 7.3 Schéma napájecí části

7.1.5 Celková funkce zapojení

Po přivedení napájení z napájecího modulu na konektory se napájení rozvětví na popsané dva základní bloky. Zatímco na nabíjecí část je napájení přivedeno pouze přes ROMEZ, pro řídicí část je toto napájení upraveno z 12 V na stabilizovaných 5 V. Výjimkou jsou operační zesilovače, které jsou napájeny přímo 12 V. Po přivedení napájení se téměř okamžitě (s určitou časovou konstantou RC) resetuje mikrokontrolér přes RC článek. Po resetu mikrokontrolér zablokuje nabíjecí obvod MAX713, aby obsluha měla dostatek času na nastavení potřebných parametrů nabíjení. Po tomto zablokování mikrokontrolér provede inicializaci displeje. Nyní musí obsluha zadat potřebné parametry pomocí tlačítek S1 – S3. Tlačítkem S5 obsluha potvrzuje, že potřebné parametry jsou zadány a může začít nabíjení. Před začátkem nabíjení je obsluha dotázána, zda požaduje akumulátory nejprve vybit. Pokud je zvoleno ANO a opět zmáčknuť tlačítko ENTER (S5), je spuštěn vybíjecí obvod, čímž je zahájeno vybíjení. O tomto mikrokontrolér a i o dalších procesech typu rychlé nebo kapkové nabíjení je obsluha informována prostřednictvím displeje. Po zahájení vybíjení testuje procesor logický stav na jednom ze dvou komparátorů podle počtu nastavených článků obsluhou. Při změně tohoto logického stavu je vybíjecí obvod rozpojen a je odblokován (spuštěn) nabíjecí obvod MAX713. Během nabíjení mikrokontrolér počítá nabíjecí dobu, podle které na konci nabíjení vyhodnotí teoretickou kapacitu akumulátorů. Tato kapacita není praktická, protože během chemického procesu nabíjení se část elektrické energie přeměňuje na teplo a vznikají ztráty, které nelze započítat, jelikož jsou závislé na vlastnostech akumulátorů. Proto mikrokontrolér ohlásí buď, že nabíjení bylo ukončeno, nebo že akumulátory jsou nabitě s výrazně vyšší kapacitou. Během nabíjení také mikrokontrolér kontroluje logický stav na vývodu FASTCHG, který změnou svého logického stavu indikuje konec rychlého nabíjení. Po tomto signálu přejde mikrokontrolér do výchozího stavu. Ponechání akumulátorů v nabíječce není na závadu, protože bude probíhat kapkové nabíjení. Lze je ale vyjmout s vědomím, že akumulátory nemají 100 % kapacity, ale asi jen 80 – 90 %.

8 Desky plošných spojů

Desky plošných spojů (dále jen DPS) byly na rozdíl od schématu rozděleny na dvě ucelené autonomní části. První část spojuje nabíjecí a řídicí část a druhá je napájecí část. Byla snaha o co největší miniaturizaci. Pro návrh DPS byl použit stejný program jako pro tvorbu schémat, tedy Eagle 4.11.

8.1 DPS nabíječky s MAX713

Tato DPS je tvořena spoji z jedné strany, přesto bylo nutné občas vést spoj po horní straně DPS s tím, že tyto spoje budou realizované pomocí nulových rezistorů nebo drátových propojek. Kompletní DPS i s rozmístěním součástek je vidět na obr. P15.2. Desku znázorňující spoje ze spodní vrstvy je vidět na obr. P15.3. Drátové propojky jsou na obr. P15.4 a na obr. P15.5 je montážní schéma. Deska je realizována tak, aby se součástky vešly na co nejmenší plochu, a proto je několik součástek úmyslně umístěno pod LCD displej. Celkové rozměry desky jsou: (š x d) 80,3 x 130,4 mm.

8.2 DPS napájení

Opět byla snaha o co největší miniaturizaci, přičemž zde je jedna velká součástka (transformátor) okolo níž jsou rozmístěny všechny ostatní součástky. Na obr. P15.6 je vidět kompletní DPS a na obr. P15.7 jsou spoje spodní vrstvy. Montážní schéma je vidět na obr. P15.8. Celkové rozměry DPS jsou : (š x d) 83,1 x 73,7 mm.

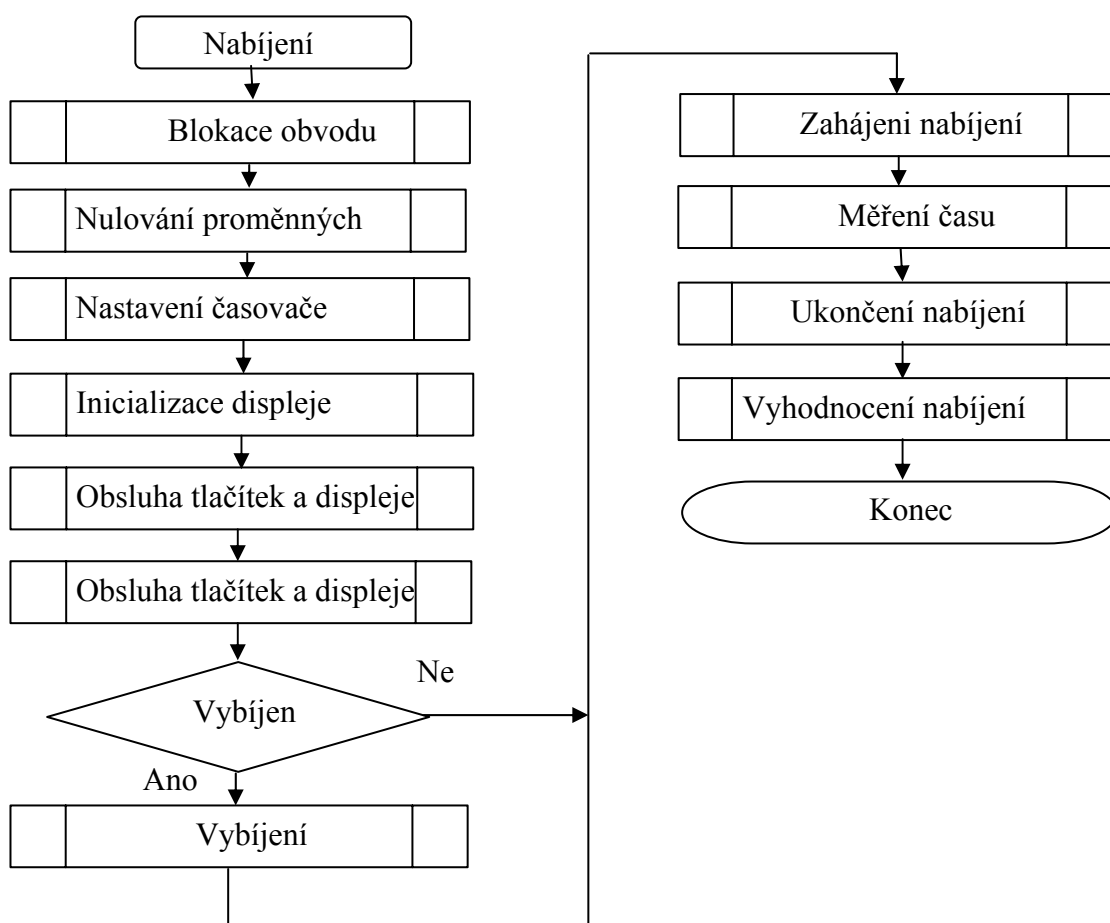
9 Programové vybavení

Pro celkovou požadovanou funkci byl navržen program, který bude obsluhuje navržený obvod. Tento program se odvíjí nejen od zadaného úkolu, ale i od typu procesoru a druhu programovacího prostředí.

9.1 Programovací prostředí a vývojový diagram

Jelikož byl zvolen mikrokontrolér řady MCS51, byl tento program vytvářen v programovacím jazyku Assembler (jazyk symbolických adres). Každý mikrokontrolér má svůj assembler. Zvolené řadě odpovídá typ assembleru označovaný jako A51. Styl a syntaxe je dána právě tímto typem mikrokontroléru, ale každý překladač (program převádějící syntax assembleru na strojový kód) má své specifické direktivy, které jiné překladače nemusejí ovládat. Program byl vytvořen v programovacím prostředí KEIL, pomocí kterého byl také převeden program do strojového neboli HEXa kódu. Samotné programování bylo prováděno pomocí programátoru pana Kunetka působícího na SPŠE v Rožnově pod Radhoštěm.

Strukturu programu lze popsat následujícím vývojovým diagramem, který je vidět na obr. 9.1. Podle tohoto vývojového diagramu byl vytvářen konečný program.



Obrázek 9.1 Vývojový diagram

10 Výroba prototypu

Prototyp je tvořen ze součástek nebo ucelených součástí spojených pomocí jednovrstvé DPS známé pod označením FR4 (obchodní název „Cuprextit“). Tato DPS byla plátována 18 μm mědi o celkové tloušťce 1 mm. Požadovaný motiv byl vyroben pomocí fotoprocessu ve školních laboratořích. Poté bylo provedeno zhotovení otvorů mechanickým vrtáním. Po těchto úkonech byla DPS očištěna a pasivována tavidlem z rozpuštěné přírodní pryskyřice (kalafuny) pro snadnější pozdější pájení. Po zaschnutí pasivační vrstvy byla DPS osazena vývodovými součástkami. Součástky SMD byly osazovány až v průběhu pájení. Pájení bylo pouze ruční pomocí mikropáječky s nástavcem „pájecí pero“, popřípadě trafopáječkou. Při osazování i pájení byla snaha, aby výsledné zařízení splňovalo požadavky pro třídu 2 normy IPC–A–610 REV. C.

11 Oživení prototypu

Prototyp byl ožíván po jednotlivých modulech. U těchto modulů byly sledovány požadované funkce. Při ožívání byl připojen zdroj napětí s proudovým omezením, aby nedošlo k možnému zničení vlivem zkratu. Zařízení fungovalo hned při prvním zapojení. Při tomto ožívání byly shledány drobné nedostatky hardwarového i softwarového typu, které byly odstraněny.

12 Výsledky laboratorních měření

Při laboratorním měření byly detailněji zkoumány jednotlivé části zařízení, přechodové jevy během nabíjení a také vliv teploty. Použité přístroje jsou uvedeny v tab. P15.4. Tímto měřením byla odzkoušena funkčnost zařízení. Dále se testoval nabíjecí cyklus a jeho chování v závislosti na nejběžnějších situacích, které mohou během nabíjení nastat (počátek a konec nabíjení, výměna akumulátorů během nabíjení). Také byl testován vliv teploty na funkci či rozptyl nabíjecích parametrů. Tento test prokázal teplotní nezávislost nabíjecího cyklu v teplotním rozmezí 25 – 70°C.

12.1 Ověření funkčnosti na osciloskopu

Jelikož je nabíjení, a tedy jeho průběhy napětí a proudu (napětí je měřeno na akumulátorech a proud pomocí proudové sondy tekoucí do akumulátorů), závislé na stavu akumulátorů (množství zbytkového náboje, stáří akumulátorů, teplota akumulátorů), mají výsledky spíše informační charakter.

Průběhy lze vidět na obr. P15.9 a na obr. P15.10 (viz příloha), přičemž při pořízování průběhu z obr. P15.9 bylo nastaveno “Nabíjení akumulátoru s kapacitou nad 1 Ah” a pro průběhy z obr. P15.10 bylo nastaveno “Nabíjení akumulátoru s kapacitou pod 1 Ah”. Z průběhů je také vidět závislost mezi změnou výstupního proudu a změnou spínání obvodu. Je zřejmé, že se změnila frekvence spínání i doba otevření tranzistoru (duty cycle).

12.2 Měření nabíjecích charakteristik

Charakteristiky byly změřeny automatickým systémem, kdy byly zkoušeny různé stavy průběhu nabíjení. Opět jsou tyto a další nabíjecí charakteristiky (hodnoty napětí, proudu a měřicího času) dány vlastnostmi nabíjených akumulátorů. Průběhy lze vidět na obr. P15.11 až obr. P15.12 (viz příloha). Tyto charakteristiky ukazují průběh nabíjecího proudu a napětí na akumulátorech od počátku do konce nabíjení s výměnou akumulátoru po ukončení nabíjení první sady akumulátoru. Na obr. P15.13 je navíc zobrazený detail změny výstupních veličin při výměně sady akumulátorů.

12.3 Teplotní vliv na zařízení

Tato měření byla prováděna v teplotní komoře v rozmezí 25 – 70 °C. Na vyšší teplotě se nemohlo měřit, protože použité součásti se dají použít jen do této teploty. Akumulátory byly mimo teplotní komoru. Po dosažení maximální teploty byla teplotní komora vypnuta a zařízení dále pracovalo, zatímco teplota postupně klesala na počáteční pokojovou teplotu. Průběhy lze vidět na obr. P15.14 až obr. P15.16 (viz příloha). Na obr. P15.14 je obvyklý časový průběh nabíjení s tím, že během nabíjení se uplatňoval ještě další parametr, a to teplota, která nejdříve stoupala a pak klesala, jak již bylo výše uvedeno. Na dalších dvou obrázcích (obr. P15.15 a obr. P15.16) jsou přímo uvedeny teplotní závislosti výstupních veličin.

13 Mechanická konstrukce

Hotové a odzkoušené moduly byly umístěny do plastové krabice, která byla zakoupena pod označením U-KP22 v GM Electronic. Tato krabice byla upravena podle potřeby. Technické výkresy úprav předního a zadního panelu jsou na obr. P15.17 a obr. P15.18. Přední panel je opatřen štítkem, který je uveden na obr. P15.19.

14 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a vyrobit funkční nabíječku NiCd a NiMH akumulátorů na základě zjištěných vlastností akumulátorů.

Nejjednodušší by bylo použití jediného obvodu, který by řídil veškeré nabíjení. Já jsem však měl větší nároky, a proto jsem do zapojení vložil mikroprocesor a LCD displej z důvodu větší kontroly nabíjení uživatelem. I tento můj návrh je částečně pro uživatele omezující, ale pokud trvám na podmínce, že zařízení je plně autonomní, musel jsem najít kompromis v požadavcích.

Při návrhu jsem musel vzít v úvahu celkovou cenu zařízení a s tím i související postup a možnosti výroby. To se ukázalo jako podstatný faktor, který se odrazil na konečné podobě a funkci zařízení.

Při laboratorních měřeních jsem zjistil, jakým způsobem je řízen výstupní proud. Mé prvotní odhady byly, že se to děje pomocí změny střidy pulsů (duty cycle). Tak se chová mnoho dnešních měničů. Zjistil jsem ale, že podstatnější změna je ve frekvenci spínání výstupního tranzistoru, kterou mohu částečně změnit volbou RC členu. Tímto však mohu nastavit jen maximální nabíjecí proud, protože skutečný nabíjecí proud je dále ovlivňován samotným nabíjeným akumulátorem. To má naopak výhodu jako ochranný prvek proti přepólování či nabíjení starých zničených akumulátorů. Dalším měřením jsem simuloval skutečné podmínky, kdy jsem po zahájení nabíjení nechal pracovat zařízení zcela autonomně. Když bylo zřejmé, že zařízení je spolehlivé, odzkoušel jsem jej i za zvýšené teploty. Výsledky tohoto měření dosáhly velmi podobných parametrů jako za standartních podmínek, i když jsem předpokládal výraznější změnu.

Závěrem mohu konstatovat, že jsem navrhnul a vyrobil funkční nabíječku NiCd a NiMH akumulátorů s tím, že zařízení pracuje spolehlivě a zcela autonomně v rozmezí teplot 25 – 70°C.

15 Použitá literatura

- [1] HUMLHANS, J. *Navrhňte si inteligentní nabíječky s obvody MAXIM*. Praha: Technická literatura BEN Praha, 2005, 144 stran. ISBN 80-86056-83-X.
- [2] GP Nickel Cadmium - Technical Hand Book [cit. 2007-10-04].
Dostupné z WWW: <http://www.gpbatteries.com.hk>
- [3] GP Nickel Metal Hydride - Technical Hand Book [cit. 2007-10-04].
Dostupné z WWW: <http://www.gpbatteries.com.hk>
- [4] RUČKA, M., ARENDÁŠ, M. *Nabíječky a nabíjení Praha*: Technická literatura BEN Praha, 2002. 112 stran. ISBN 80-86056-61-9.
- [5] SKALICKÝ, P. Mikroprocesory řady 8051. Praha: Technická literatura BEN Praha, 2000, 1604 stran. ISBN 80-86056-39-2.
- [6] KLUČIK, J., FRONC, V. *Mikrokontroléry ATMEL s jádrem 8051*. Praha: Technická literatura BEN Praha, 2001, 128 stran. ISBN 80-7300-008-3.
- [7] VACEK, V. *Učebnice programování ATMEL s jádrem 8051*. Praha: Technická literatura BEN Praha, 2002, 144 stran. ISBN 80-73006-043-1.
- [8] A – RADIO – časopis Ročník 1996 - 2004

Seznam příloh:

Obrázky

OBRÁZEK P15.1 KOMPLETNÍ SCHÉMA NABÍJEČKY NiCd A NiMH AKUMULÁTORŮ S MAX713	42
OBRÁZEK P15.2 DPS NABÍJEČKY S ROZLOŽENÍM SOUČÁSTEK	43
OBRÁZEK P15.3 DPS NABÍJEČKY – POHLED NA SPOJE	43
OBRÁZEK P15.4 DPS NABÍJEČKY – POHLED NA VRCHNÍ SPOJE (DRÁTOVÉ PROPOJKY)	44
OBRÁZEK P15.5 DPS NABÍJEČKY – POHLED SOUČÁSTKY (MONTÁŽNÍ SCHÉMA)	44
OBRÁZEK P15.6 DPS NAPÁJENÍ S ROZLOŽENÍM SOUČÁSTEK	45
OBRÁZEK P15.7 DPS NAPÁJENÍ – POHLED NA SPOJE	45
OBRÁZEK P15.8 NAPÁJENÍ – MONTÁŽNÍ SCHÉMA	45
OBRÁZEK P15.9 ČASOVÝ PRŮBĚH NABÍJENÍ PRO MAX. PROUD > 1A (SPÍNACÍ TRANZISTOR – RŮŽOVÁ, NABÍJECÍ PROUD – MODRÁ, NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORECH – ČERVENÁ)	47
OBRÁZEK P15.10 ČASOVÝ PRŮBĚH NABÍJENÍ PRO MAX. PROUD < 1A (SPÍNACÍ TRANZISTOR – RŮŽOVÁ, NABÍJECÍ PROUD – MODRÁ, NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORECH – ČERVENÁ)	47
OBRÁZEK P15.11 PRŮBĚH NABÍJECÍHO PROUDU (ZAČÁTEK NABÍJENÍ, VÝMĚNA ČLÁNKU, UKONČENÍ NABÍJENÍ) ...	48
OBRÁZEK P15.12 PRŮBĚH NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORECH (ZAČÁTEK NABÍJENÍ, VÝMĚNA ČLÁNKU, UKONČENÍ NABÍJENÍ)	48
OBRÁZEK P15.13 DETAIL PŘEDCHOZÍCH PRŮBĚHŮ (VÝMĚNA ČLÁNKU)	49
OBRÁZEK P15.14 PRŮBĚH NABÍJENÍ V TEPLTNÍ KOMOŘE (NEJPRVE TEPLOTA NARŮSTALA, POTÉ KLESALA)	49
OBRÁZEK P15.15 PRŮBĚH NABÍJENÍ V TEPLTNÍ KOMOŘE (NÁRŮST TEPLoty)	50
OBRÁZEK P15.16 PRŮBĚH NABÍJENÍ V TEPLTNÍ KOMOŘE (POKLES TEPLoty)	50
OBRÁZEK P15.17 TECHNICKÝ VÝKRES MECHANICKÝCH ÚPRAV PŘEDNÍHO PANELU	51
OBRÁZEK P15.18 TECHNICKÝ VÝKRES MECHANICKÝCH ÚPRAV ZADNÍHO PANELU	52
OBRÁZEK P15.19 ŠTÍTEK NA PŘEDNÍ PANEL (1:1)	53

Tabulky

TABULKA P15.1 OZNAČENÍ A FUNKCE VÝVODŮ POUZDRA MAX713	41
TABULKA P15.2 PROGRAMOVÁNÍ POČTU ČLÁNKŮ A MAXIMÁLNÍ DOBY NABÍJENÍ	41
TABULKA P15.3 ROZPISKA SOUČÁSTEK	46
TABULKA P15.4 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	47

CD s dokumentací

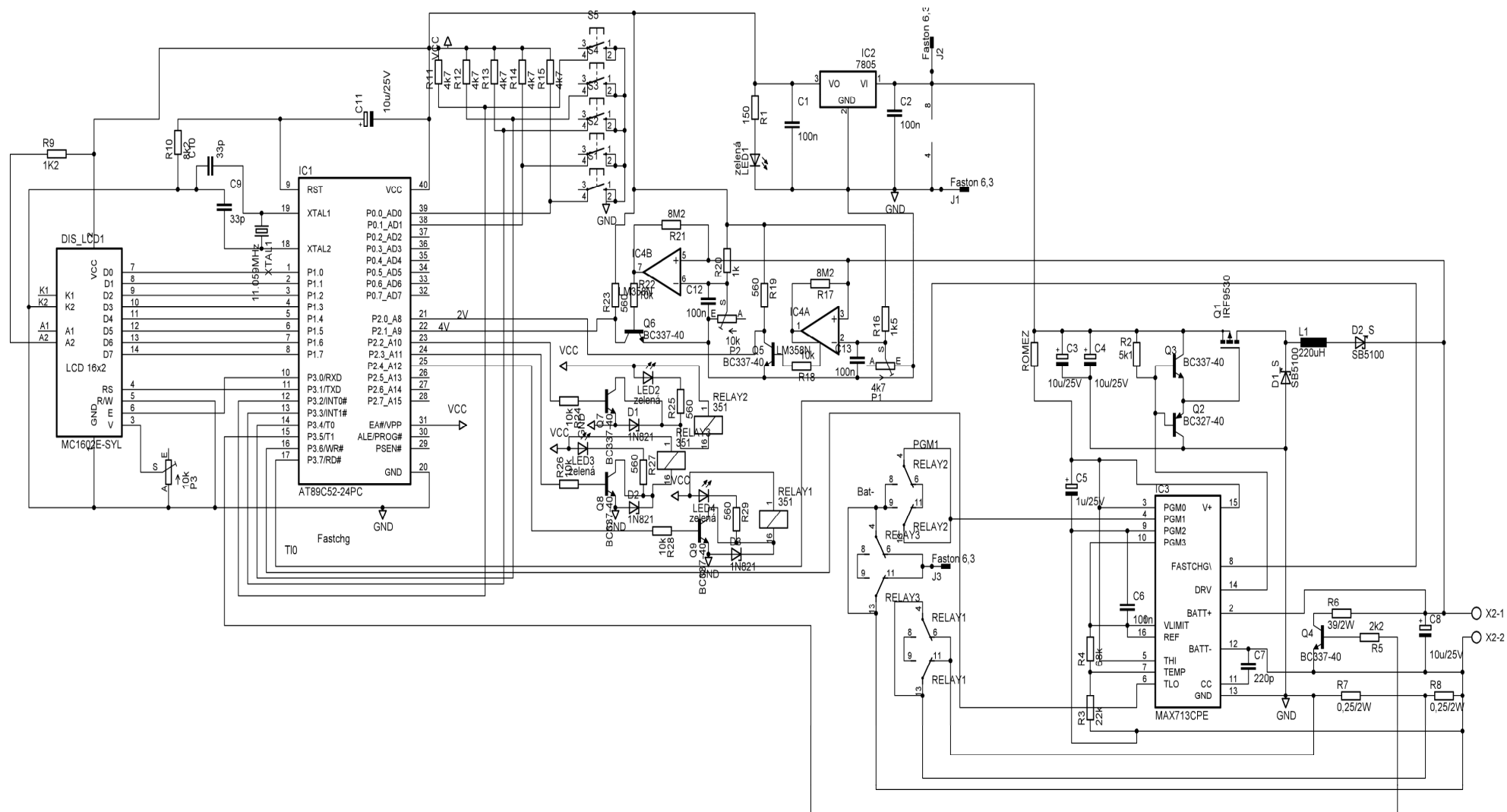
16 Přílohy

Tabulka P15.1 Označení a funkce vývodů pouzdra MAX713

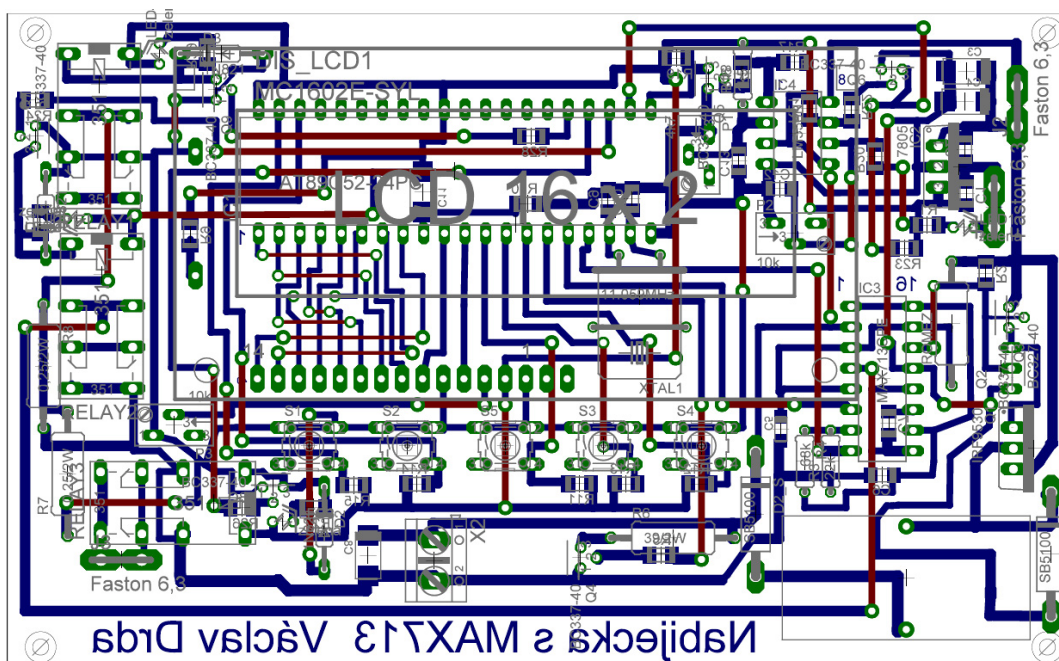
Číslo vývodu	Označení	Popis
1	ULIMIT	Určuje max. napětí článku. Musí být menší než 2,5 V.
2	BAT+	Kladný vývod baterie
3, 4	PGM0 PGM1	Řídicí vstupy pro nastavení počtu článků nabíjené baterie Nastavení odpovídá tab.3.
5	THI	Referenční hodnota komparátoru max. teploty článku
6	TLO	Referenční hodnota komparátoru min. teploty článku
7	TEMP	Vstup pro připojení napětí z obvodu měření teploty
8	FASTCHG	Výstup s otevřeným kolektorem pro signalizace stavu nabíjení
9, 10	PGM2 PGM3	Řídicí vstupy pro nastavení maximální povolené doby rychlého nabíjení. Nastavení odpovídá tab.3.
11	CC	Zapojení kompenzace proudové regulační smyčky
12	BAT-	Záporný vývod baterie
13	GND	Zem systému
14	DRV	Výstup pro buzení báze vnějšího tranzistoru PNP
15	U+	Paralelní regulátor napájecího napětí
16	REF	Výstup zdroje referenčního napětí 2 V

Tabulka P15.2 Programování počtu článků a maximální doby nabíjení

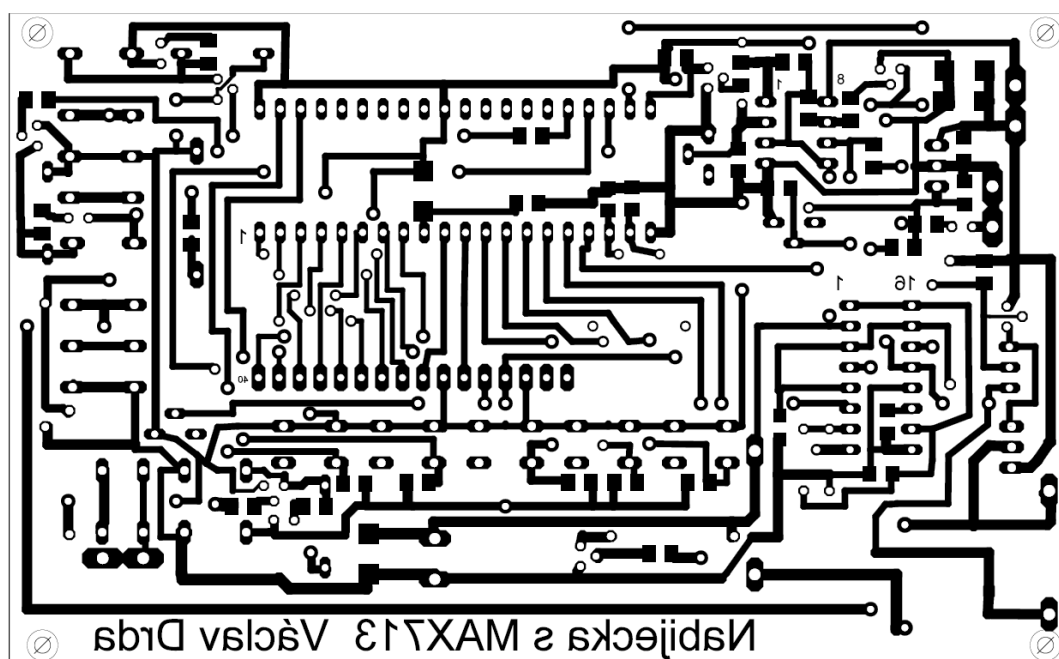
Počet článků	Připojení PGM 1	Připojení PGM 0		Doba nabíjení [min]	Perioda vzorkování převodníku A/D t_A [s]	Ukončení podle $\Delta U/\Delta t$	Připojení PGM 3	Připojení PGM 2
1	U+	U+		22	21	Ne	U+	naprázdno
2	naprázdno	U+		22	21	Ano	U+	REF
3	REF	U+		33	21	Ne	U+	U+
4	BAT-	U+		33	21	Ano	U+	BAT-
5	U+	naprázdno		45	42	Ne	naprázdno	naprázdno
6	naprázdno	naprázdno		45	42	Ano	naprázdno	REF
7	REF	naprázdno		66	42	Ne	naprázdno	U+
8	BAT-	naprázdno		66	42	Ano	naprázdno	BAT-
9	U+	REF		90	84	Ne	REF	naprázdno
10	naprázdno	REF		90	84	Ano	REF	REF
11	REF	REF		132	84	Ne	REF	U+
12	BAT-	REF		132	84	Ano	REF	BAT-
13	U+	BAT		180	168	Ne	BAT	naprázdno
14	naprázdno	BAT		180	168	Ano	BAT	REF
15	REF	BAT		264	168	Ne	BAT	U+
16	BAT-	BAT		264	168	Ano	BAT	BAT-



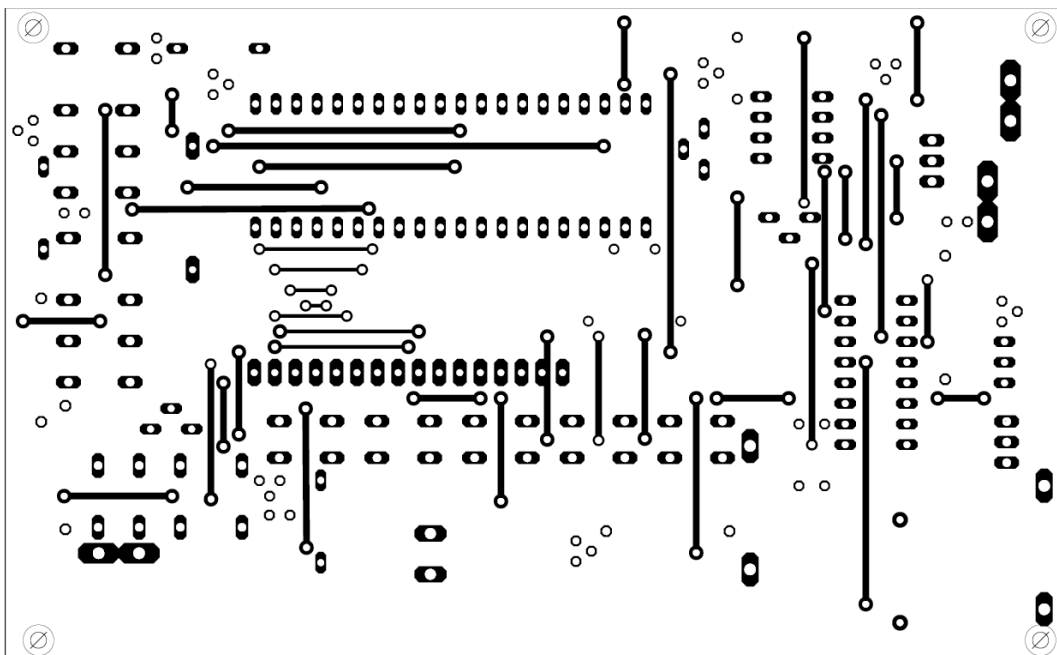
Obrázek P15.1 Kompletní schéma nabíječky NiCd a NiMH akumulátorů s MAX713



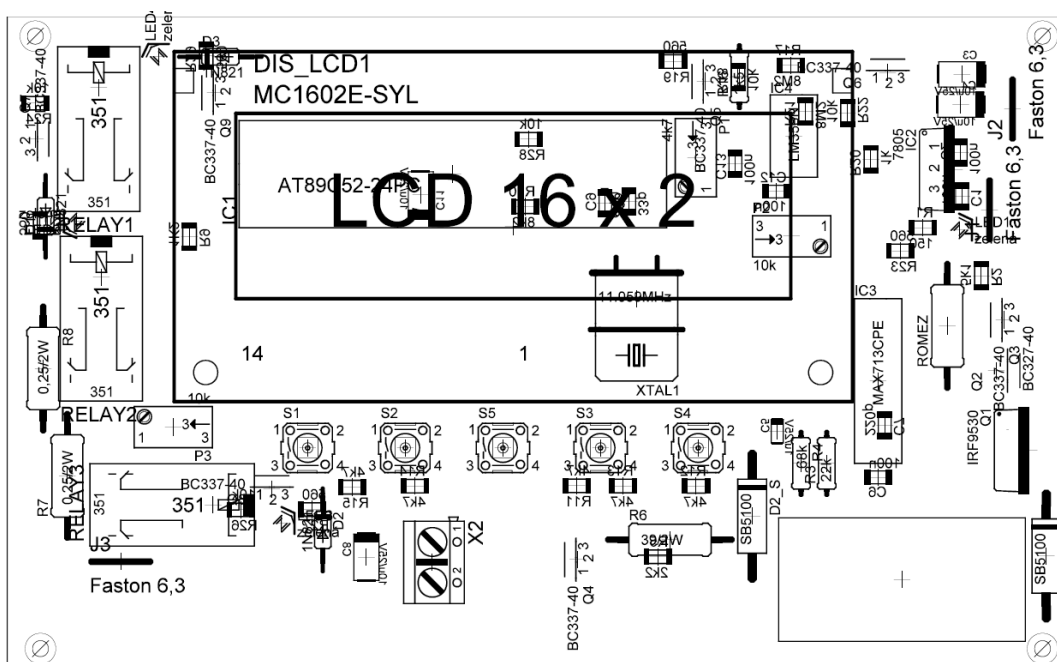
Obrázek P15.2 DPS nabíječky s rozložením součástek



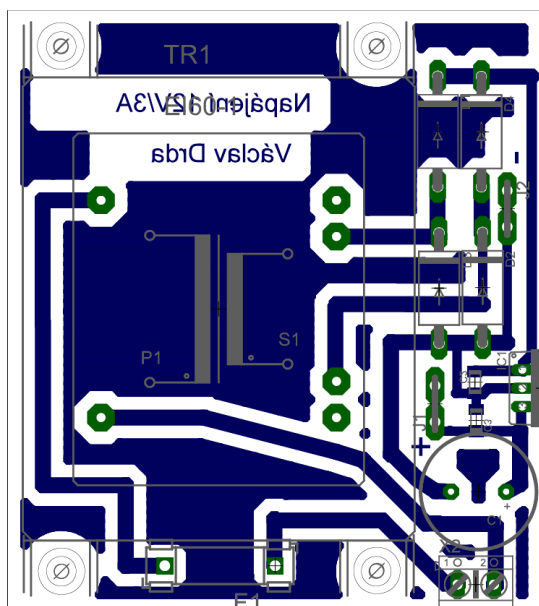
Obrázek P15.3 DPS nabíječky – pohled na spoje



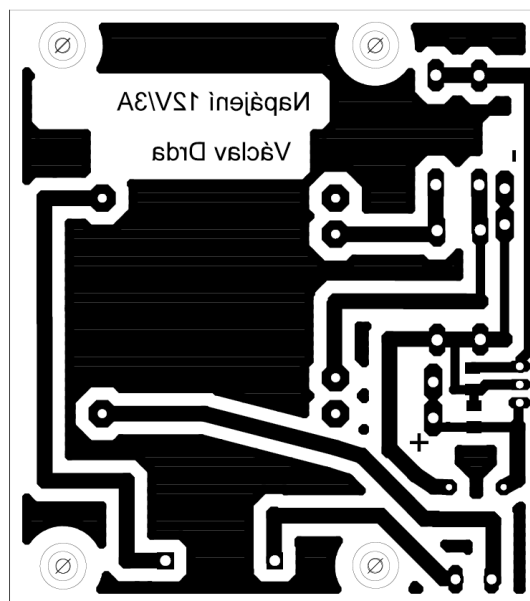
Obrázek P15.4 DPS nabíječky – pohled na vrchní spoje (drátové propojky)



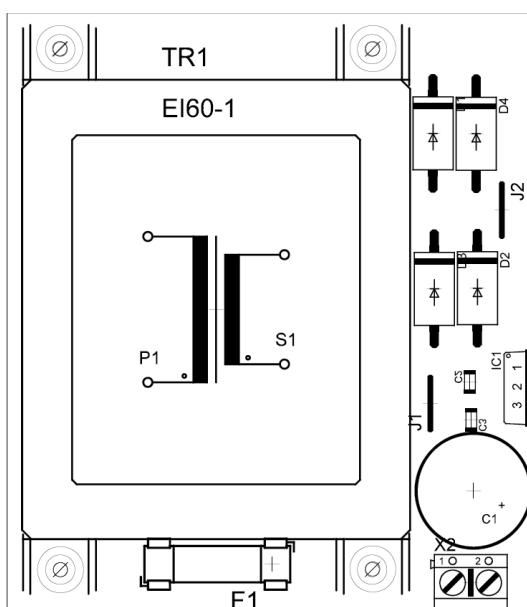
Obrázek P15.5 DPS nabíječky – pohled součástky (montážní schéma)



Obrázek P15.6 DPS napájení s rozložením součástek



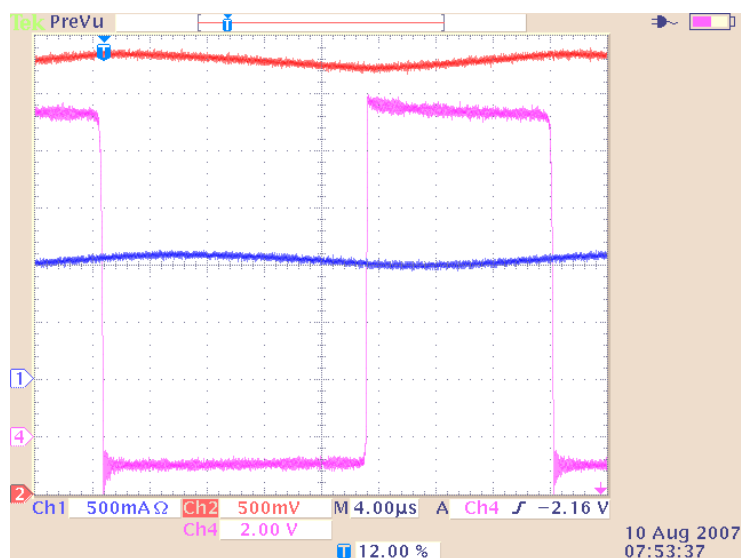
Obrázek P15.7 DPS napájení – pohled na spoje



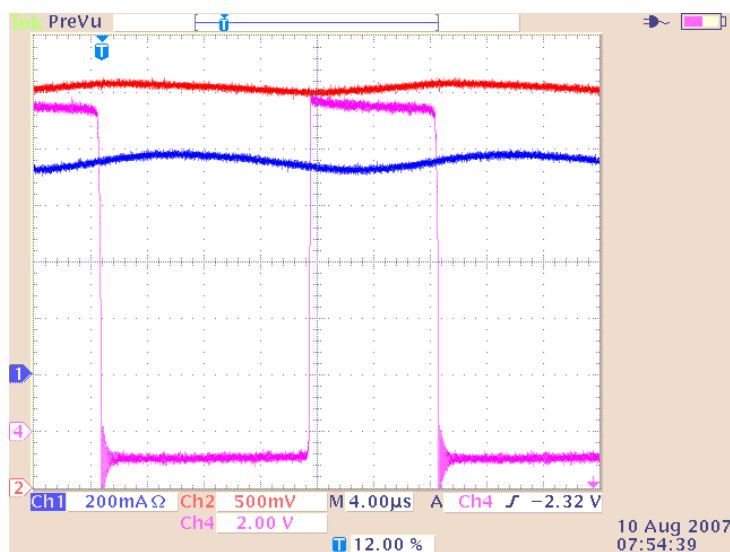
Obrázek P15.8 Napájení – montážní schéma

Tabulka P15.3 Rozpiska součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Označení	Hodnota	Pouzdro
C1	100n	1206	R26	10k	1206
C2	100n	1206	R27	560	1206
C3	10u/25V	SMC_C	R28	10k	1206
C4	10u/25V	SMC_C	R29	560	1206
C5	1u/25V	SMC_A	Romez	1k2	0411
C6	100n	1206	Relay1		M4
C7	220p	1206	Relay2		M4
C8	10u/25V	SMC_C	Relay3		M4
C9	33p	1206	L1	220uH	DPU220A3
C10	33p	1206	D1	1N4007	DO35
C11	10u/25V	SMC_C	D2	1N4007	DO35
C12	100n	1206	D3	1N4007	DO35
C13	100n	1206	D1_s	SB5100	B417
P1	4k7	S64Y	D2_s	SB5100	B417
P2	10k	S64Y	Dis-LCD1	MC1602SYL	MC1602SYL
P3	10k	S64Y	Led1	zelená	Ø3mm
R1	150	1206	Led2	zelená	Ø3mm
R2	5k1	1206	Led3	zelená	Ø3mm
R3	22k	0207	Led4	zelená	Ø3mm
R4	68k	0207	Xtal1	11,059MHz	HC18U-H
R5	2k2	1206	Q1	IRF9530	TO220
R6	39/2W	0411	Q2	BC327-40	TO92
R7	0.25/2W	0411	Q3	BC337-40	TO92
R8	0.125/2W	0411	Q4	BC337-40	TO92
R9	1k2	1206	Q5	BC337-40	TO92
R10	8k2	1206	Q6	BC337-40	TO92
R11	4k7	1206	Q7	BC337-40	TO92
R12	4k7	1206	Q8	BC337-40	TO92
R13	4k7	1206	Q9	BC337-40	TO92
R14	4k7	1206	IC1	AT89C52	DIL40
R15	4k7	1206	IC2	7805	TO220
R16	1k5	0207	IC3	MAX713CPE	DIL16
R17	8M2	1206	IC4	LM358N	DIL8
R18	10k	1206	S1	Mikrospínač	B3F-10XX
R19	560	1206	S2	Mikrospínač	B3F-10XX
R20	1k	1206	S3	Mikrospínač	B3F-10XX
R21	8M2	1206	S4	Mikrospínač	B3F-10XX
R22	10k	1206	S5	Mikrospínač	B3F-10XX
R23	560	1206	J1	Konektor	Faston 6,3
R24	10k	1206	J2	Konektor	Faston 6,3
R25	560	1206	J3	Konektor	Faston 6,3
			X2	Svorkovnice	AK500/2



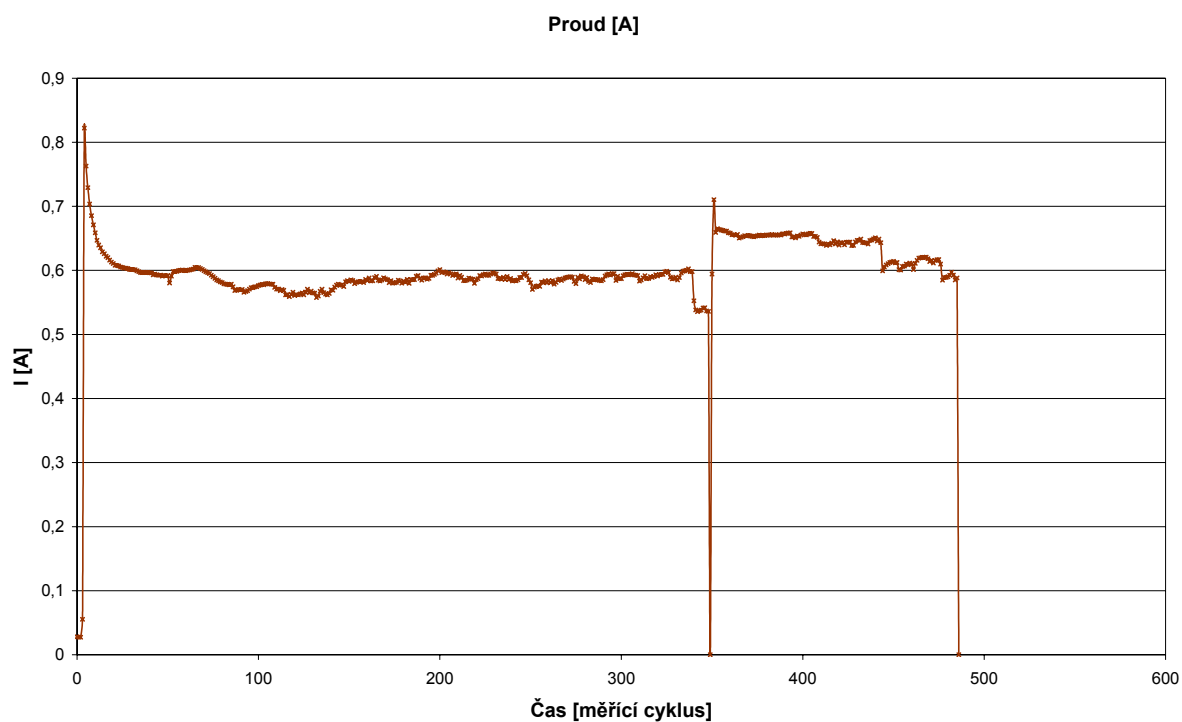
Obrázek P15.9 Časový průběh nabíjení pro max. proud > 1A
(spínací tranzistor – růžová, nabíjecí proud – modrá, napětí na akumulátorech – červená)



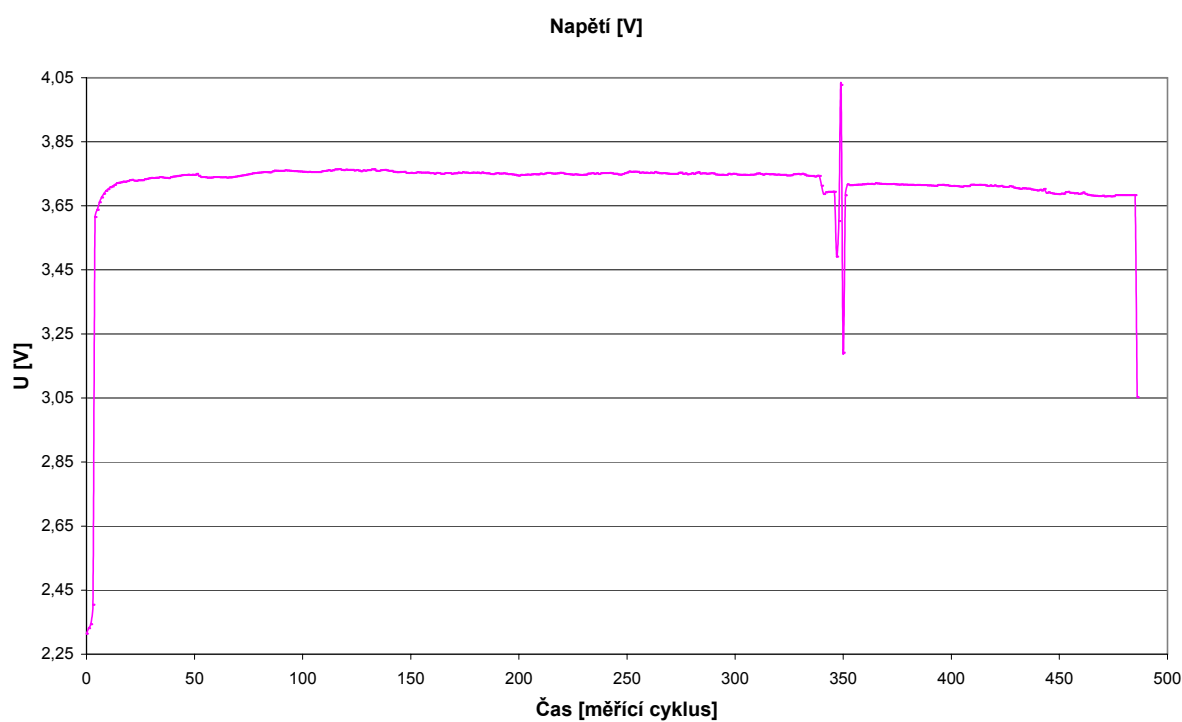
Obrázek P15.10 Časový průběh nabíjení pro max. proud < 1A
(spínací tranzistor – růžová, nabíjecí proud – modrá, napětí na akumulátorech – červená)

Tabulka P15.4 Použité měřící přístroje

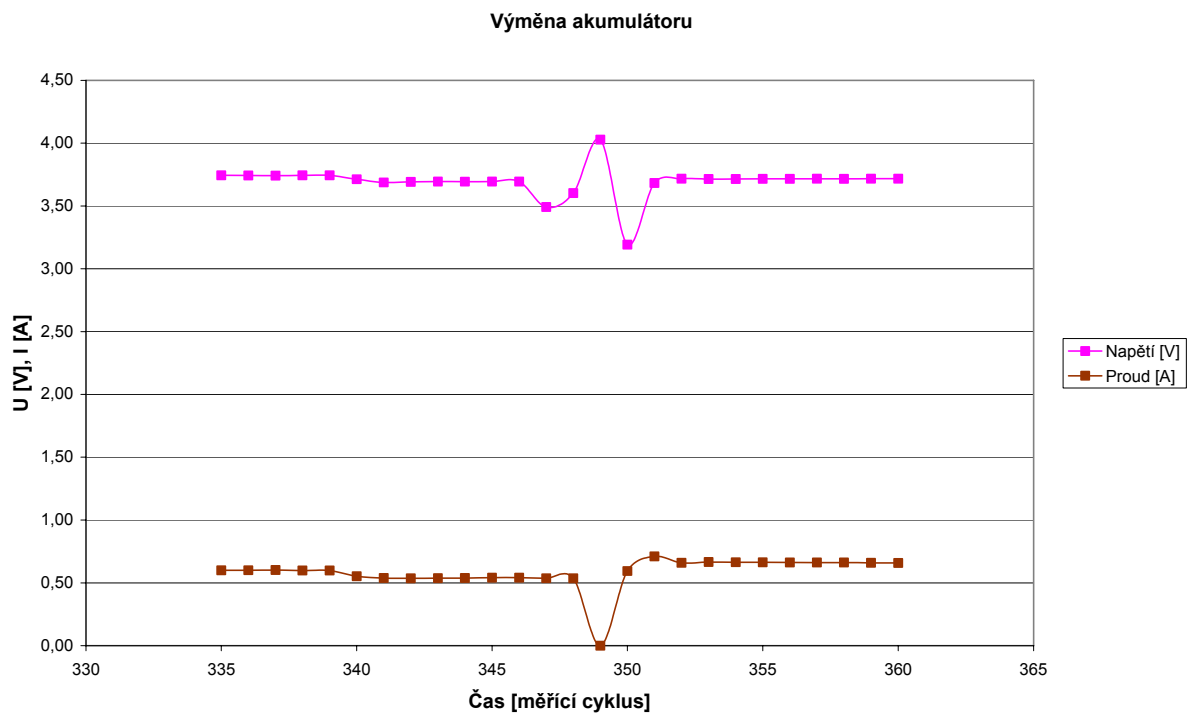
Měřící přístroj	Výrobce	Typové označení
Multimetry	Keithley	2000, 2001
Napájecí zdroje	Agilent	6622A, 6653A
Osciloskopy	Tektronix	TDS3064B, TDS3054
Termočlanek		PT 100
Teplotní komora	Heraeus Votsch	



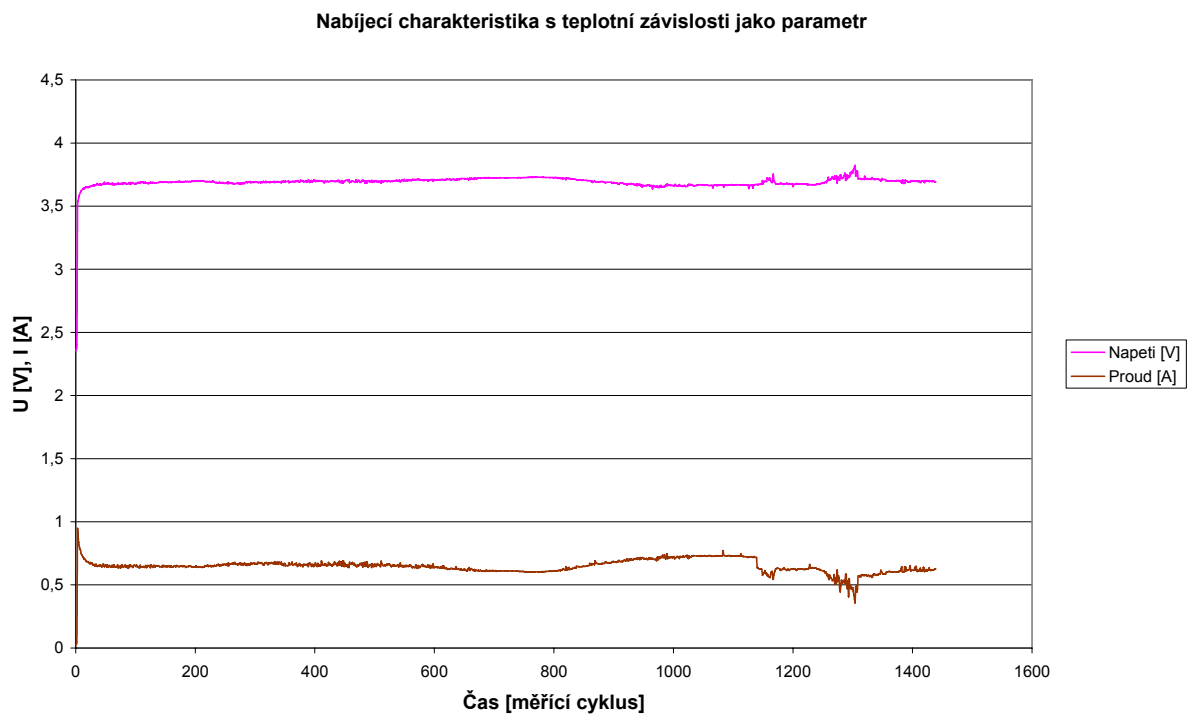
Obrázek P15.11 Průběh nabíjecího proudu (začátek nabíjení, výměna článku, ukončení nabíjení)



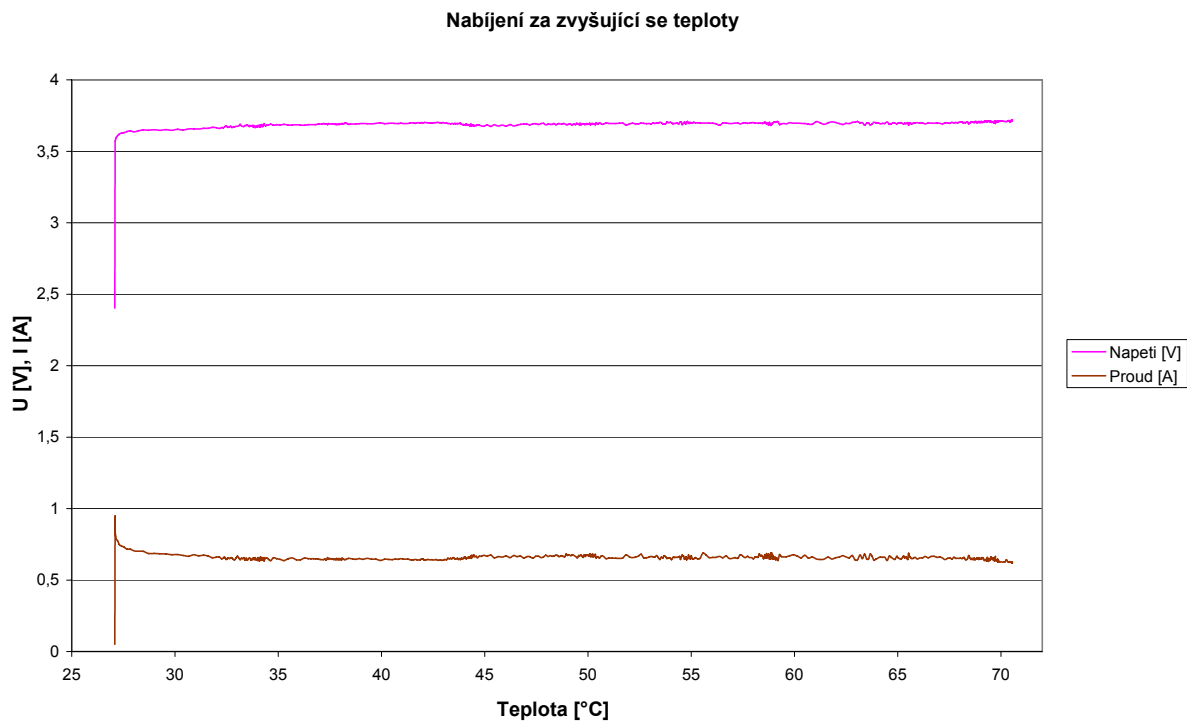
Obrázek P15.12 Průběh napětí na akumulátorech (začátek nabíjení, výměna článku, ukončení nabíjení)



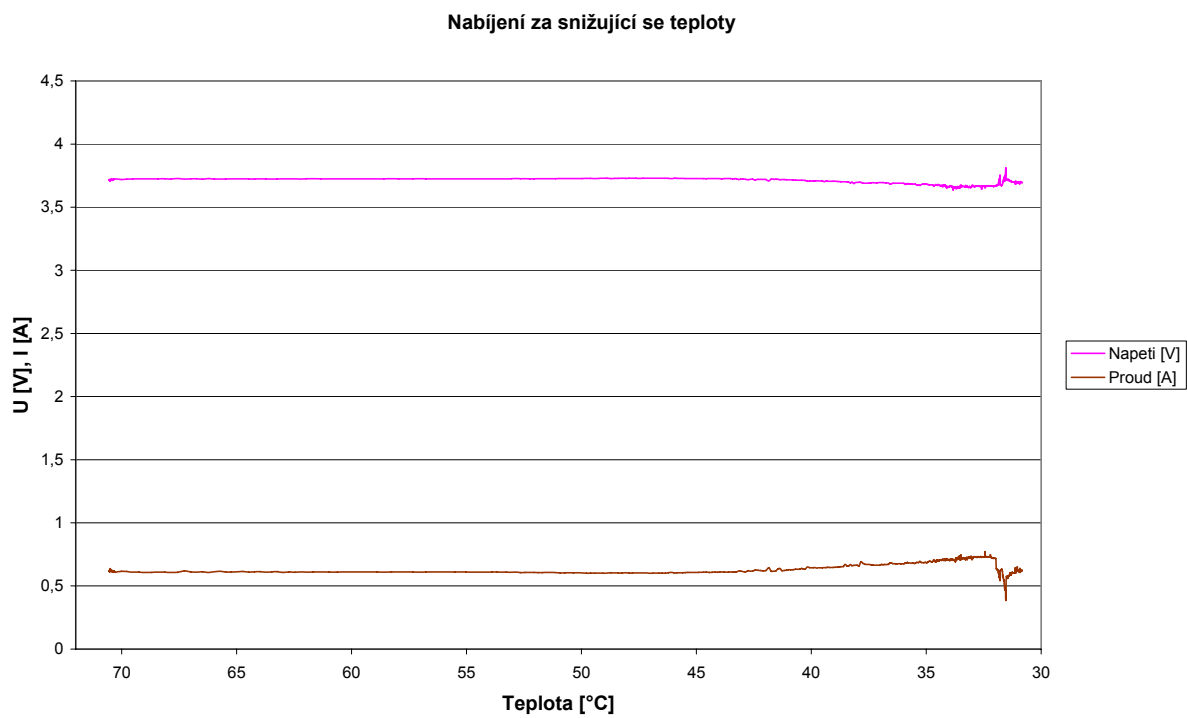
Obrázek P15.13 Detail předchozích průběhů (výměna článku)



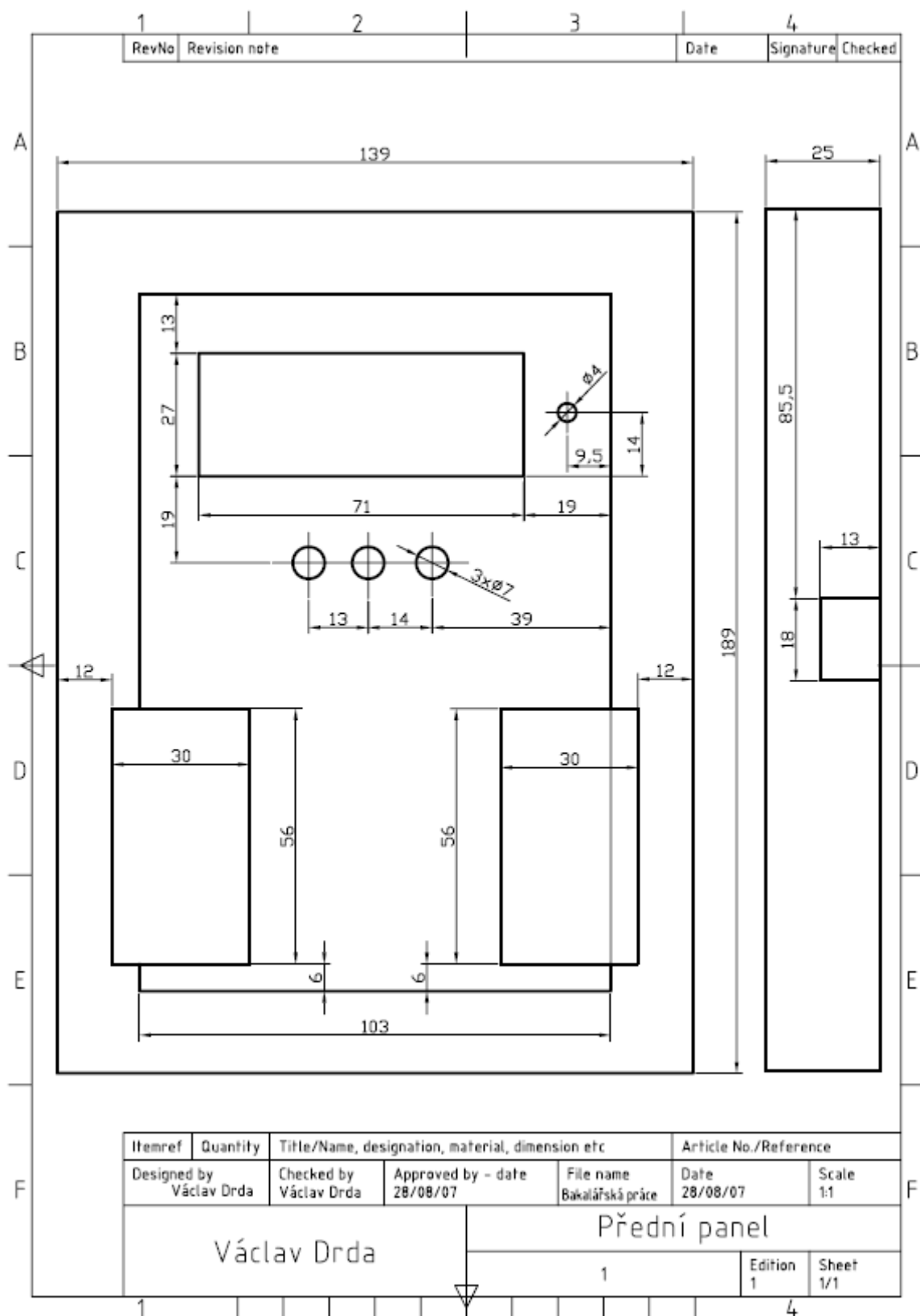
Obrázek P15.14 Průběh nabíjení v teplotní komoře (nejprve teplota narůstala, poté klesala)



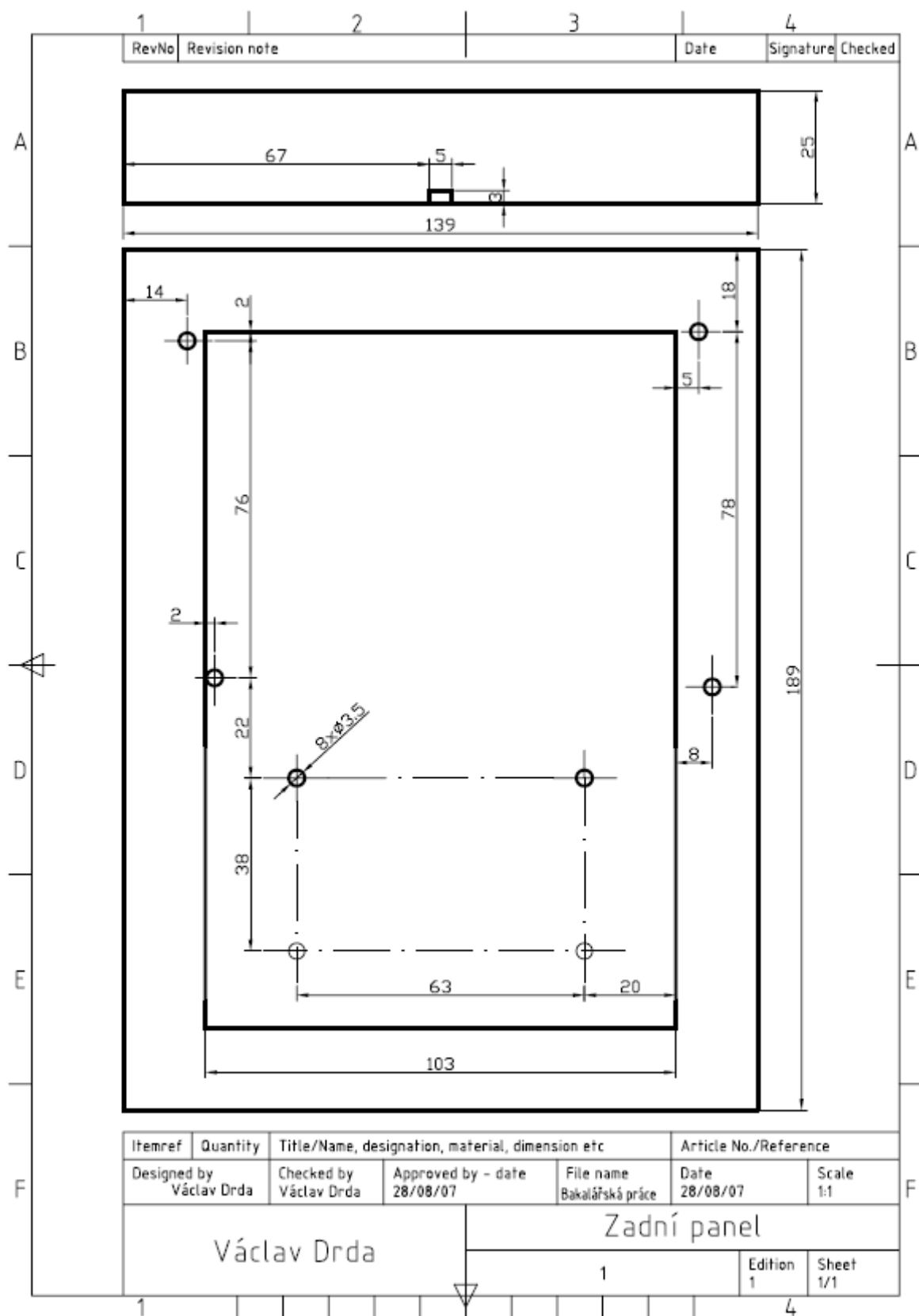
Obrázek P15.15 Průběh nabíjení v teplotní komoře (nárůst teploty)



Obrázek P15.16 Průběh nabíjení v teplotní komoře (pokles teploty)



Obrázek P15.17 Technický výkres mechanických úprav předního panelu



Obrázek P15.18 Technický výkres mechanických úprav zadního panelu



Obrázek P15.19 Štítek na přední panel (1:1)