

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta - Katedra fyziky

Vývoj a realizace automatického dobíječe zdrojů nouzového osvětlení

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.

Autor: Jan Anderl

University of South Bohemia

Pedagogical faculty - Department of Physics

**Construction and Realization of Automatic Battery Charger for
Emergency Illumination**

Thesis

Supervisor: doc. PaedDr. Petr Adánek, Ph.D.

Author: Bc. Jan Anderl

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na konstrukci a realizaci automatického dobíječe zdrojů nouzového osvětlení. Práce krátce seznamuje s problematikou nouzových osvětlovacích systémů a záložních napájecích zdrojů. Hlavní součástí práce je návrh a realizace systému dobíjení. Výstupem práce je konkrétní technické řešení a realizace automatického dobíječe.

Abstract

The thesis is focusing on the construction and realization of automatic source charger of emergency illumination. The work introduces the question of emergency lighting systems and backup power sources briefly. The main part of this work is concentrating on the concrete designing and realizing projects of the charging system. The output of this work is a specific technical solution and realization of an automatic charger in practice.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

29. 4. 2011

.....

Bc. Jan Anderl

Poděkování

Touto formou děkuji svému vedoucímu práce doc. PaedDr. Petru Adámkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při zpracování mé práce.

Úvod	8
1 Cíle práce	9
2 Teoretická část	10
2.1 Nouzové osvětlovací systémy	10
2.2 Záložní napájecí zdroje	13
2.2.1 Typy akumulátorů	13
2.2.1.1 Olověný akumulátor.....	16
2.2.1.2 NiCd akumulátor.....	23
2.2.1.3 NiMH akumulátor	26
2.2.2 Nabíjení akumulátorů	27
2.3 Metody měření kapacity zdrojů	34
3 Návrh technického řešení	37
3.1 Vlastní návrh a analýza	37
3.1.1 Analýza požadavků na dobíječ zdrojů	37
3.1.2 Celková koncepce automatického dobíječe zdrojů	37
3.2 Návrh hardwaru	38
3.2.1 Výběr transformátoru	38
3.2.2 Návrh regulačního obvodu	42
3.2.2.1 Usměrňovač	43
3.2.2.2 Stabilizátory napětí	44
3.2.2.3 Operační zesilovače	44
3.2.2.4 Akční člen	45
3.2.2.5 Proudová regulace	47
3.2.3 Návrh obvodu řízení	49
3.2.4 Zobrazovací obvod	53
3.2.5 Sestava celého elektronického systému	53
3.3 Návrh softwaru	55
Závěr	57
Seznam použité literatury	58
Přílohy	59

Úvod

Nouzové osvětlovací systémy jsou důležitou součástí veřejných, ale i některých soukromých budov [1]. Na problematiku nouzového osvětlení z hlediska dobíjení zdrojů nouzového osvětlení je zaměřena i tato diplomová práce.

Použití nouzového osvětlení se dotýká mnoha oblastí lidské činnosti. Ať již jde o náhradu normálního osvětlení při výpadku sítě, které nám umožní pokračovat v běžné činnosti, nebo o osvětlení, které nás má bezpečně odvést z budovy třeba v případě požáru.

Místa, která jsou určena pro veřejnost nebo pro zaměstnance, jsou nouzovými osvětlovacími systémy vybavena povinně [2]. Nouzové osvětlení je chápáno jako požárně bezpečnostní zařízení, což ještě více zvyšuje jeho důležitost.

Nouzové osvětlení je obecný pojem a je proto rozděleno na více druhů. Požadavky na instalaci, údržbu a opravy jsou z toho důvodu popsány v jednotlivých normách, které jsou sepsány pro konkrétní prostory či objekty.

Srdcem každého nouzového osvětlovacího systému je napájecí zdroj. Ať se jedná o svítidla s vlastním akumulátorem, nebo o svítidla napájená z centrálního zdroje, vždy je potřeba, aby tyto napájecí zdroje byly v případě výpadku síťového napětí připraveny zajistit napájení nouzovým osvětlovacím systémům.

Svítidla napájená z centrálního zdroje mohou používat různé druhy akumulátorů. Záleží vždy na požadovaných vlastnostech. Kapacitě, jmenovitém napětí, počtu nabíjecích cyklů nebo třeba odolnosti vůči okolním vlivům, jako je například teplota.

Aby byly akumulátory schopné napájet nouzové osvětlovací systémy při výpadku síťového napájení, musí být udržovány stále nabitě. O tuto podmínku se starají systémy dobíjení. Každý typ akumulátoru vyžaduje určitý způsob nabíjení. Systémy dobíjení jsou schopné nabíjet jednotlivé akumulátory podle charakteristik, které danému typu nejvíce vyhovují, a zajistit tak maximální životnost daného akumulátoru.

Úkolem této diplomové práce je navrhnout a zkonstruovat automatický dobíječ zdrojů nouzového osvětlení, který bude splňovat požadavky dané způsobem jeho použití a zároveň bude splňovat bezpečnostní předpisy z hlediska úrazu elektrickým proudem.

1 Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je vyvinout, zkonstruovat a ověřit automatický dobíječ zdrojů nouzového osvětlení, který se skládá z elektronické části – hardwaru – a programové části – softwaru.

Jednotlivé etapy postupu řešení vedoucí ke splnění cílů práce jsou:

1. Studium problematiky nouzového osvětlení – Seznámení s problematikou nouzových osvětlovacích systémů, jejichž napájení je realizováno pomocí akumulátorů, a návrh nejvhodnějšího typu akumulátoru podle jeho charakteristik.

2. Studium problematiky akumulátorů – Seznámení s problematikou elektrochemie a návrh nejvhodnějšího typu akumulátoru podle jeho charakteristik.

3. Navržení hardwaru – navrhnout vhodný typ zdroje a automatického řízení, jako jsou jednotlivé obvody, deska plošných spojů a další komponenty konstrukce.

4. Navržení softwaru - sestavení programu pro procesor, jehož funkcí je řízení automatického systému dobíjení.

5. Ověření funkce – otestování funkčnosti celého projektu.

Poznámka: *Všechna schémata a návrhy plošných spojů vložená v diplomové práci jsou zpracována v programu Eagle 5.10.0 pro systém Windows získaném z webu výrobce [3]*

2 Teoretická část

2.1 Nouzové osvětlovací systémy

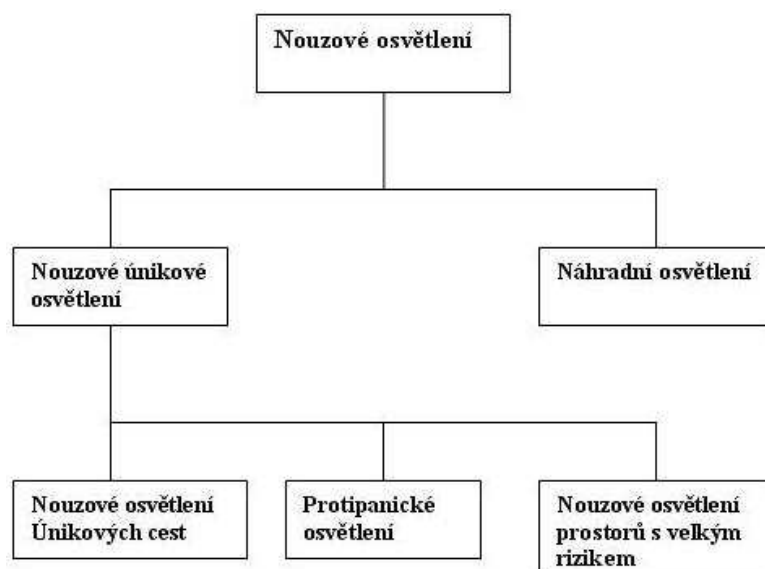
Podle normy ČSN EN 1838 *Světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení* je pojem nouzové osvětlení pojem obecný a zahrnuje různé druhy osvětlení [2]:

Tab. 1 Přehled norem pro různé druhy objektů – převzato a upraveno

Druh prostoru nebo objektu	Podle normy
Únikové cesty (chráněné i nechráněné)	ČSN 73 0802, ČSN 73 0810...
Shromažďovací prostory (vnitřní i venkovní) a v provozně souvisejících prostorech za běžného provozu přístupných návštěvníkům shromažďovacího prostoru (hygienické příslušenství, šatny apod.)	ČSN 73 0831
Kina, divadla, multifunkční zařízení	ČSN 33 2410, ČSN 33 2420
Zdravotnická zařízení, sanatoria	ČSN 33 2140, ČSN 33 2130
Výškové budovy nad devět pater (alespoň na CHÚC)	ČSN 33 2130, ČSN 73 0833
Hotely, penziony, obchody	ČSN 33 2130, ČSN 73 0833
Hlavní rozvodny, rozvodny nouzového napájení, podzemní garáže, výtahy apod.	ČSN 73 08xx; souvisí s únikovými cestami a protipanickým osvětlením
Prostory s velkým rizikem	ČSN EN 1838

Nouzové osvětlení se zřizuje pro použití v případě selhání normálního osvětlení a je proto napájeno ze zdroje nezávislého na tom, který napájí normální osvětlení. [2]

Nouzové osvětlení můžeme dělit na náhradní osvětlení a nouzové únikové osvětlení.



Obr. 1 Druhy nouzového osvětlení - převzato a upraveno z [2]

Náhradní osvětlení [2] (*Stand-by lighting*)

Nahrazuje klasické osvětlení dodáním elektrické energie z nouzového zdroje. Umožňuje pokračovat v činnosti bez výrazného omezení.

Nouzové únikové osvětlení (*Emergency escape lighting*)

Slouží k bezpečnému opuštění prostoru při výpadku sítě [2]. Svítidla se umísťují do výšky alespoň 2 m nad podlahu.

Nouzové osvětlení únikových cest [2] (*Escape route lighting*)

Slouží k opuštění prostoru poskytnutím vhodných podmínek pro vidění a určení směru na únikových cestách a na zvláštních místech a zajištěním snadného dosažení a použití protipožárních a bezpečnostních zařízení.

Protipanické osvětlení (*Open area lighting*)

Slouží k zmenšení pravděpodobnosti paniky a umožnění přítomným bezpečný pohyb směrem k únikovým cestám poskytnutím vhodných podmínek pro vidění a určení směru. Směr světla na únikových cestách a ve veřejných prostorech má být dolů k pracovní rovině, osvětleny však mají být také všechny překážky do výšky 2 m nad touto plochou [2]. Protipanické osvětlení se používá v prostorech, ve kterých nejsou určeny únikové cesty, tj. v halách, v prostorech s podlahovou plochou větší než 60 m² nebo v menších prostorech, pokud je v nich přídavné riziko, jako je používání prostoru velkým množstvím lidí.

Nouzové osvětlení prostor s velkým rizikem [2] (*High risk task area lighting*)

Slouží k bezpečnosti lidí při potenciálně nebezpečných procesech nebo situacích a umožňuje řádné ukončení činností uskutečňovaných pro bezpečnost ostatního osazenstva v daném místě.

Nouzový východ [2] (*Emergency exit*) Cesta ven určená pro použití v případě nouze.

Úniková cesta [2] (*Escape route*) Cesta určená pro únik v případě nouze.

Zapojení nouzového osvětlení

System nouzového zapojení může být dvojího druhu.

A.) Svítlidla s vlastními akumulátory [4]

Vlastní akumulátory svítidel jsou trvale dobíjeny ze sítě a v případě přerušení napájení v důsledku výpadku sítě, nebo přehoření kabeláže při požáru je svítidlo napájeno ze svého akumulátoru.

Nouzová svítidla se používají převážně na únikových cestách, proto musí typ kabelu odpovídat způsobu uložení [2]. Problém se týká uvolňování jedovatého chlóru při hoření kabelu (chlór se používá pro zpomalení hoření).

Je-li kabel uložen v krytu s odpovídající protipožární odolností, lze použít standardní CYKY kabel, který chlór obsahuje [4]. Při uložení kabelu tak, že není chráněn před požárem, je nutno použít bezhalogenový kabel (např. CHKE-R nebo CHKE-V).

V praxi se používá častěji druhá možnost.

Výhodou svítidel s vlastními akumulátory je fakt, že nelze vyřadit z provozu všechny svítidla najednou, jejich instalace je jednodušší a v neposlední řadě od nich nehrozí úraz elektrickým proudem při záplavách (po vypnutí napájecího napětí) [2].

Nevýhodou je nutnost kontroly, popřípadě výměny baterií ve svítidlech.

B.) Svítlidla napájená z centrálního zdroje

V tomto případě jsou svítidla napájena z centrálního zdroje, a proto musí být zajištěna jejich funkčnost i při požáru [2]. Kabely i kabelové trasy jsou tedy součástí požárně bezpečnostního zařízení.

Centrální zdroj musí být umístěn v samostatné rozvodně spolu s centrálním rozvaděčem nouzového osvětlení.

Výhodou svítidel napájených z centrálního zdroje je snadná kontrola stavu centrální baterie.

Nevýhodou je nutnost vypnutí systému při povodních z důvodů nebezpečí úrazu elektrickým proudem a také to, že při poruše centrální baterie není funkční žádné svítidlo.

2.2 Záložní napájecí zdroje

Napájecí zdroj je zařízení, které je schopné dodat elektrický proud nebo napětí potřebné k funkci jiného elektrického zařízení.

Jako záložní napájecí zdroje se používají akumulátory, což jsou sekundární neboli vratné články [5]. U těchto akumulátorů nás nejvíce zajímají následující parametry.

Kapacita – tato veličina udává množství energie (elektrického náboje) uložené v akumulátoru. Udává se v miliampérhodinách (*mAh*), popřípadě v ampérhodinách (*Ah*).

Pokud má akumulátor kapacitu 1 Ah, pak je schopen dodávat elektrický proud o velikosti 1 A po dobu 1 hodiny.

Vnitřní odpor – značí se R_i a udává elektrický odpor článku při průchodu elektrického proudu a tím schopnost akumulátoru dávat větší (malé R_i), nebo menší (velké R_i) vybíjecí proud [5]. Jeho velikost je dána odporem elektrolytu mezi kladnou a zápornou elektrodou.

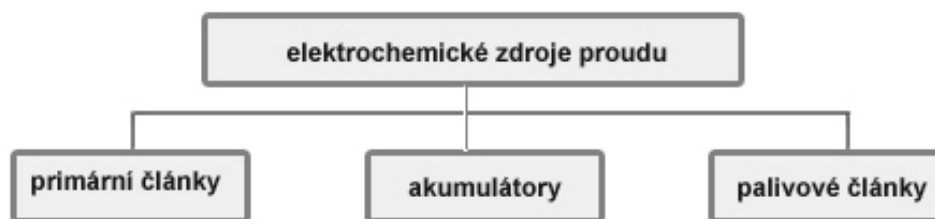
Napětí naprázdno – značí se U_0 a udává hodnotu napětí akumulátoru, ke kterému není připojena zátěž. Jeho velikost závisí na hustotě elektrolytu a teplotě.

Konečné vybíjecí napětí – jedná se o výrobcem stanovenou hodnotu napětí, po jejímž dosažení by se již akumulátor neměl nadále vybíjet [5]. Dalším vybíjením se akumulátor dostává do stavu hlubokého vybití, při němž se snižuje kapacita a životnost akumulátoru.

Konečné nabíjecí napětí – je výrobcem stanovená hodnota napětí, kterého dosáhne plně nabitý akumulátor [5]. Překročením této hodnoty se snižuje kapacita a životnost akumulátoru.

2.2.1 Typy akumulátorů

Akumulátor je jeden z druhů elektrochemických zdrojů proudu. Základní rozdělení elektrochemických zdrojů proudu je znázorněno na Obr. č. 2.

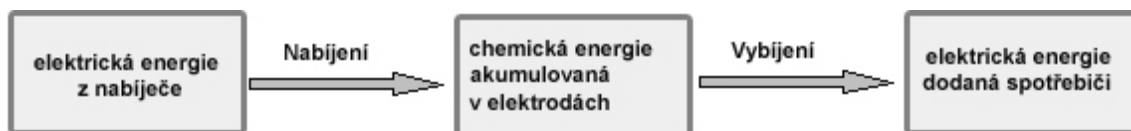


Obr. č. 2 Zjednodušené schéma rozdělení elektrochemických zdrojů proudu – převzato a upraveno dle [5]

Pro účely této diplomové práce bude pozornost zaměřena pouze na akumulátory.

Akumulátory neboli sekundární články jsou elektrochemické zdroje proudu, které jsou schopny opakovaného nabíjení a vybíjení.

V průběhu nabíjení přijímá akumulátor elektrickou energii z vnějšího zdroje a akumuluje ji v podobě energie chemické ve svých elektrodách. V průběhu vybíjení nastává opačný proces, při kterém se mění chemické složení aktivních složek elektrod a akumulátor následně dodává elektrickou energii spotřebiči (viz Obr. č. 3).



Obr. č. 3 Zjednodušené schéma funkce akumulátoru

Akumulátory můžeme dále dělit podle mnoha kritérií [6]. Nejzákladnější rozdělení je podle typu elektrolytu na akumulátory s kyselým, alkalickým, nebo bezvodným elektrolytem.

Další dva způsoby rozdělení akumulátorů jsou popsány níže.

Rozdělení akumulátorů podle účelu použití:

Staniční: Tento druh akumulátorů je trvale dobíjen a zajišťuje nepřerušované napájení v případě výpadku napájení z rozvodné sítě. Staniční akumulátory se vyrábí v provedení se zaplavenými elektrodami, nebo řízené ventilem (AGM a gelové) [5]. Vzhledem k tomu, že staniční akumulátory prodělají za svoji životnost pouze několik desítek cyklů, jejich životnost se udává v rocích.

Trakční: Tento druh akumulátorů pracuje v cyklickém režimu nabíjení a vybíjení. Používají se k pohonu elektromobilů, vysokozdvížných vozíků a dalších strojů. Trakční akumulátory se vyrábí v provedení se zaplavenými elektrodami, nebo řízené ventilem. Životnost těchto akumulátorů se udává v počtu nabíjecích a vybíjecích cyklů. [5]

Startovací: Tento druh akumulátorů má charakteristický průběh nabíjecích a vybíjecích cyklů. Používají se jako zdroj elektrické energie pro spouštění spalovacích motorů automobilů, lodí, letadel, popřípadě stacionárních diesela agregátů [5]. Po dobu několika málo sekund jsou vybíjeny vysokými proudy při startování motorů, kdy se vybije pouze zlomek jejich kapacity a následně jsou dobíjeny a udržovány v téměř nabitěm stavu. Startovací akumulátory se vyrábí v provedení se zaplavenými elektrodami, nebo řízené ventilem (AGM a gelové).

Rozdělení akumulátorů podle způsobu uzavření článkových nádob:

Otevřený článek: Tento typ akumulátoru není uzavřen víkem a elektrolyt je v přímém kontaktu s ovzduším [5]. Otevřené články se používaly u olověných staničních akumulátorů s kapacitou řádově desítky až tisíce ampérhodin.

Uzavřený článek (vented cell): Tento typ akumulátoru je uzavřen víkem s otvorem pro unikání plynů [5]. Otvor bývá opatřen zátkou nebo ventilem a akumulátor se jím může plnit elektrolytem nebo vodou. Víko akumulátoru navíc omezuje kontakt elektrolytu s ovzduším a zároveň zamezuje vniknutí cizích částic do akumulátoru.

Ventilem řízený článek (valve regulated sealed cell): Tento typ akumulátoru je bezúdržbový, tzn. do akumulátoru se nedoplňuje elektrolyt ani voda [5]. Je opatřen tlakovým ventilem, který hlídá mezní hodnotu přetlaku, a v případě překročení této hodnoty upustí přebytek plynu. U olověných akumulátorů se tento typ značí VRLA (valve regulated lead acid).

Uzavřený plynotěsný článek: Tento typ akumulátoru je také bezúdržbový, proti nebezpečnému zvýšení přetlaku, například při přebíjení, je vybaven bezpečnostním systémem [5]. Je potřeba u něj dodržet výrobcem stanovenou hodnotu nabíjecího napětí a proudu. Tyto hodnoty jsou značně závislé na teplotě.

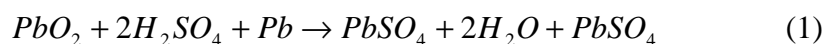
Hermetický článek: Tento typ akumulátoru je stejně jako akumulátor plynotěsný zcela bezúdržbový. Rozdíl je pouze v absenci bezpečnostního ventilu. Hermetizace je možná u článků, ve kterých se neuvolňují žádné plyny (jiné než vodné elektrody), nebo u článků, ve kterých je koeficient difuze vodíku větší než koeficienty difuze jiných plynů. U NiCd akumulátorů spočívá řešení v zabránění uvolňování vodíku (viz NiCd akumulátor dále) [5]. U olověných akumulátorů lze hermetizaci řešit použitím pomocné vodíkové elektrody spojené s kladnou elektrodou.

2.2.1.1 Olověný akumulátor

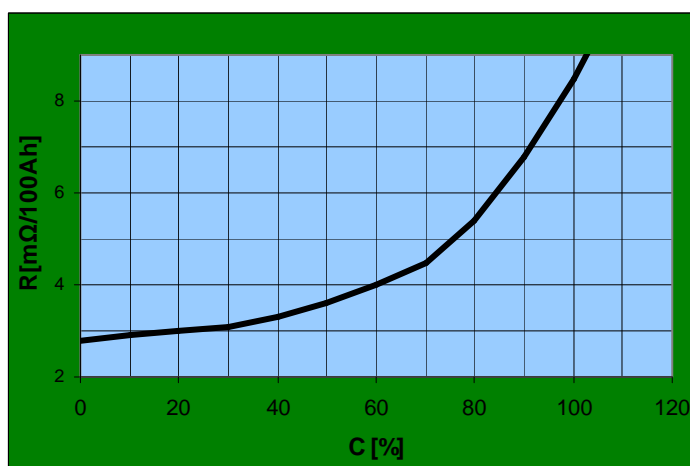
Olověný akumulátor je galvanický článek s elektrodami, jejichž aktivní hmotu tvoří oxid olovičitý (kladná elektroda), resp. porézní olovo (záporná elektroda). Elektrolyt tvoří kyselina sírová.

Olověné akumulátory jsou nejpoužívanější typy sekundárních elektrochemických zdrojů energie. Technologie jejich výroby je dobře zvládnutá a léty prověřená, což souvisí i s relativně nízkou cenou a vysokou spolehlivostí [5]. Vyrábějí se v kapacitách řádově 1 až 10000 Ah.

Vztah (1) je zjednodušený popis elektrochemických dějů, které probíhají při vybíjení olověných akumulátorů (při nabíjení probíhají reakce v opačném sledu) [5].



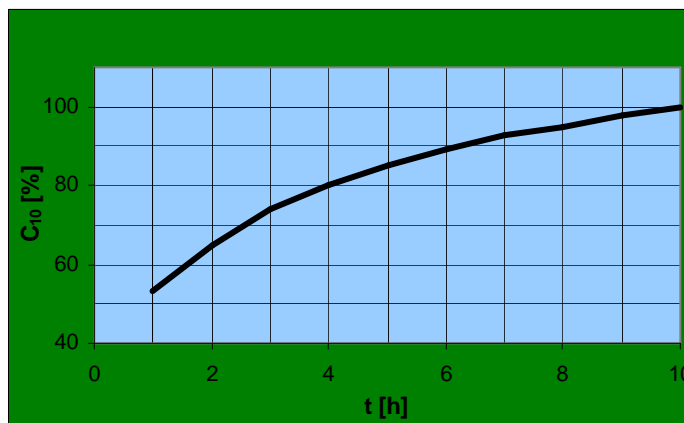
Při vybíjení akumulátoru se na elektrodách tvoří síran olovnatý ($PbSO_4$) v podobě krystalů [2]. Jeho objem je větší než objem aktivních hmot elektrod. V důsledku tohoto jevu se zpomaluje difuze iontů kyseliny sírové do aktivních hmot elektrod. Elektrická vodivost $PbSO_4$ je velmi malá, z tohoto důvodu se s přibývajícím $PbSO_4$ zvyšuje i vnitřní odpor akumulátoru (viz Obr. č. 4).



Obr. č. 4 Závislost vnitřního elektrického odporu na hloubce vybití –
převzato a upraveno z [5]

S velikostí vnitřního odporu akumulátoru souvisí jeho schopnost dodávat elektrický proud. Obecně platí, že čím větší vnitřní elektrický odpor, tím nižší proud je schopen akumulátor dodat.

Velikost vybíjecího proudu a doba vybíjení mají vliv na kapacitu akumulátoru. Závislost kapacity olověného staničního akumulátoru na době vybíjení proudem C_{10} je znázorněna na Obr. č. 5.



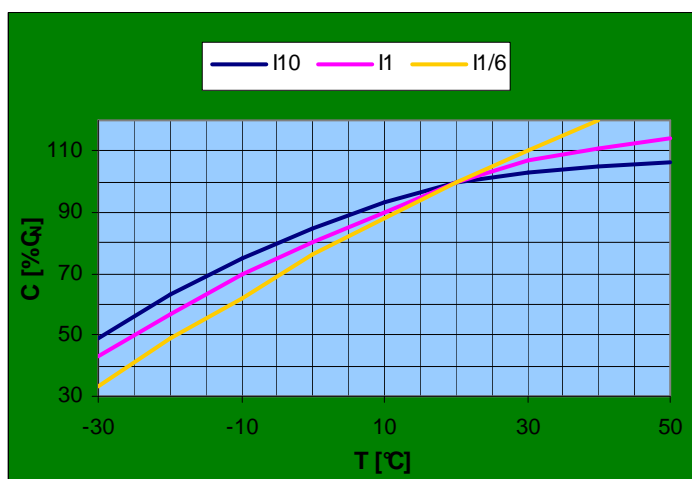
Obr. č. 5 Závislost kapacity olověných staničních akumulátorů na době vybíjení.
převzato a upraveno z [5]

Na kapacitu akumulátorů má velký vliv i teplota. Nejnáchylnější jsou akumulátory řízené ventilem. Nejvhodnější teplota pro akumulátory je cca 20 °C. Teploty nad 20 °C zvyšují ztráty samovybíjením a zkracují tím životnost akumulátoru [5]. Příklad vlivu teploty na kapacitu akumulátorů řízených ventilem je v Tabulce 2.

Tab. 2 Vliv teploty na využitelnou kapacitu akumulátorů řízených ventilem,
převzato a upraveno z [5]

Teplota [°C]	Vybíjecí proud I [%] do konečného napětí U _K							
	I ₁₀ [A]	U _K [V]	I ₅ [A]	U _K [V]	I ₃ [A]	U _K [V]	I ₁ [A]	U _K [V]
30	102	1,80	102	1,77	103	1,75	103	1,67
20	100	1,80	100	1,77	100	1,75	100	1,67
0	87	1,79	86	1,75	85	1,72	80	1,64
-10	75	1,77	74	1,73	72	1,68	60	1,62
-20	61	1,75	59	1,72	55	1,66	38	1,60

Naopak při nízkých teplotách klesá kapacita akumulátoru, na každý stupeň Celsia přibližně o 1 %. Tento pokles kapacity není lineární a značně závisí na velikosti vybíjecího proudu (viz Obr. 6). Vliv teploty na pokles kapacity se více projevuje u záporných elektrod, což se kompenzuje již při výrobě přidáním různých expandérů do aktivních hmot elektrod. Tyto expandéry navíc zajišťují potřebný stupeň porézности elektrod během celé životnosti akumulátoru [5]. Nízké teploty také snižují schopnost akumulátoru plně se nabít.



Obr. č. 6 Závislost kapacity staničních akumulátorů na teplotě při vybíjení různě velkými proudy - převzato a upraveno z [5]

Jak již bylo zmíněno, pro účely záložního napájení jsou určeny akumulátory staniční, které se vyrábí v provedení se zaplavenými elektrodami nebo řízené ventilem (AGM a gelové).

Akumulátory se zaplavenými elektrodami: Takto jsou označovány všechny akumulátory, které mají elektrody ponořené do elektrolytu. Nad články je umístěn plnicí a plynovací prostor [5]. V plnicím prostoru se během provozu pohybuje hladina elektrolytu a plynovací prostor slouží pro unikání plynu při elektrolýze vody v elektrolytu.

Akumulátory se dodávají již s elektrolytem v nabitém stavu, nebo tzv. suché a elektrolyt se doplňuje až před použitím [5]. Akumulátory v tzv. suchém stavu mají velkou výhodu v možnosti dlouhodobého skladování (nejlépe při teplotě pod 20 °C),

při kterém nedochází k samovybíjení, jako je tomu u akumulátorů již naplněných elektrolytem.

Na druhou stranu nejsou tyto akumulátory připravené k okamžitému použití a musí se nejprve naplnit elektrolytem a nabít.

Akumulátory řízené ventilem [5] (valve regulated lead acid): Tyto akumulátory neobsahují elektrolyt v kapalném stavu. Jsou opatřeny kolektory elektrod z olova legovaného vápníkem. Důvodem je maximalizace přepětí vodíku na olovu, které vede k potlačení elektrolýzy vody na vodík a kyslík a zároveň se snižuje samovybíjení.

Ventily, kterými jsou akumulátory vybaveny, udržují přetlak plynů na hodnotách v rozmezí 0,07 kPa až 0,43 kPa. Účinnost rekombinace vodíku a kyslíku je větší než 95 %, což snižuje též nároky na odvětrávání prostor, v nichž jsou akumulátory umístěny.

Podle způsobu fixování elektrolytu můžeme akumulátory řízené ventilem rozdělit na AGM a gelové. Oba tyto typy mají téměř shodné způsoby provozu a údržby. Hodnoty napětí pro nabíjení se u nich pohybují v rozmezí 2,23 V/článek až 2,30 V/článek pro trvalé dobíjení, resp. 2,40 V/článek až 2,47 V/článek pro cyklický provoz.

Akumulátory AGM: U těchto akumulátorů je elektrolyt nasáknutý v separátorech ze skleněných mikrovláken v aktivních hmotách elektrod. Hustota elektrolytu se pohybuje v rozmezí 1,27 g/cm³ až 1,29 g/cm³. Difuze kyslíku probíhá od kladné elektrody k záporné malými póry mezi skleněnými vlákny. Kyslík se váže na porézní olovo záporné elektrody a vzniká oxid olovnatý (PbO), ten následně reaguje s ionty kyseliny sírové a vzniká síran olovnatý (PbSO₄) [5]. Z tohoto důvodu nejsou záporné elektrody nikdy zcela nabity a malé množství vodíku, které vzniká při nabíjení, zpětně nekombinuje s kyslíkem opět na vodu.

Tento typ akumulátorů se vyznačuje malým vnitřním elektrickým odporem, což umožňuje akumulátor zatěžovat většími vybíjecími proudy než akumulátory gelové. Životnost akumulátorů se uvádí 5 až 12 let podle typu konstrukce.

Akumulátory gelové [5]: U těchto akumulátorů je elektrolyt ztužený tixotropním gelem SiO₂. Při nabíjení se v gelu vytvoří kanálky. Difuze kyslíku z kladné elektrody na zápornou probíhá právě pomocí těchto kanálků. Chemické reakce v gelovém

akumulátoru probíhají stejně jako v akumulátoru AGM. Gelové akumulátory mají sice větší vnitřní elektrický odpor než akumulátory AGM, na druhou stranu mají delší životnost. U staničních akumulátorů s kladnými trubkovými elektrodami dosahuje životnost 15 až 18 let.

Životnosti staničních akumulátorů souvisí s konstrukcí jejich kladných elektrod. Ty jsou v provedení velkopovrchové, trubkové, tyčové nebo mřížkové.

Životnost akumulátorů podle konstrukce je přibližně 4 až 6 let, 8 až 12 let, 15 až 20 let a nad 20 let.

Akumulátory s velkopovrchovými elektrodami: Význam mají především články s většími kapacitami (500 Ah až 2600 Ah). Pro potřeby vyšších kapacit lze články paralelně spojovat. Hustota použitého elektrolytu je $1,22 \text{ g/cm}^3$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Vnitřní elektrický odpor nabitých článků je přibližně $1 \text{ m}\Omega$ na 100 Ah. V plně nabitém článku může maximální vybíjecí proud dosahovat až 1,2 násobku jmenovité kapacity C_{10} po dobu 0,5 až 5 sekund. Hodnota napětí pro trvalé dobíjení je $2,23 \text{ V/článek}$ [5]. Rozsah maximálních provozních teplot je v rozmezí 0 až $+55 \text{ }^\circ\text{C}$. Za optimálních podmínek je životnost tohoto typu akumulátorů 15 až 20 let a interval doplňování vody 2 roky.

V cyklickém provozu nabíjení a vybíjení dosahují životnosti kolem 1000 cyklů. Nevýhodou těchto akumulátorů jsou velké rozměry, hmotnost a vyšší cena.

Akumulátory s trubkovými elektrodami typu OPzS: U staničních, ale i trakčních akumulátorů je tento typ konstrukce v současné době nejrozšířenější. Vyrábí se v kapacitách od 15 Ah do 12 000 Ah. Hustota použitého elektrolytu je $1,24 \text{ g/cm}^3$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Vnitřní elektrický odpor nabitých článků je přibližně $3 \text{ m}\Omega/100 \text{ Ah}$, což znamená, že akumulátory s tímto typem konstrukce elektrod nejsou vhodné pro velké vybíjecí proudy. Rozumné maximum jsou jednohodinové vybíjecí proudy. Při trvalém dobíjení na konstantní napětí $2,23 \text{ V/článek}$ a vybíjení jen při výpadku síťového napájení dosahují životnosti 15 až 18 let [5]. V cyklickém provozu nabíjení a vybíjení dosahují životnosti přes 1000 cyklů.

Akumulátory s tyčovými elektrodami typu Vb: U těchto typů akumulátorů jsou kolektory kladných elektrod zhotoveny ze slitiny Pb-Se-Sb a jako elektrolyt je použita kyselina sírová o hustotě $1,24 \text{ g/cm}^3$. Akumulátory se vyrábějí v 6 V a 12 V

monoblocích o jmenovitých kapacitách 18 Ah až 265 Ah, nebo složené z 2 V článků v kapacitách 250 Ah až 2520 Ah C_{10} [5]. Tento typ akumulátorů se vyznačuje malým vnitřním elektrickým odporem, což jim umožňuje dodávat velké vybíjecí proudy. Maximálně jsou schopné se vybíjet až desetiminutovými proudy.

Akumulátory s mřížkovými elektrodami typu OGi: Jedná se o akumulátory se zaplavenými elektrodami. Jako elektrolyt je použita kyselina sírová o hustotě $1,24 \text{ g/cm}^3$. Tyto akumulátory se vyrábějí v 6 V a 12 V monoblocích o jmenovitých kapacitách C_{10} 25 až 300 Ah [5]. Napětí pro trvalé dobíjení je závislé na teplotě a nastavuje se následovně:

Při $30 \text{ }^\circ\text{C}$ se nastaví napětí 2,19 V/článek.

Při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ se nastaví napětí 2,23 V/článek.

Při $10 \text{ }^\circ\text{C}$ se nastaví napětí 2,27 V/článek.

Při $0 \text{ }^\circ\text{C}$ se nastaví napětí 2,31 V/článek.

Životnost těchto akumulátorů dosahuje 10 až 12 let.

Ventilem řízené staniční akumulátory: Ventilem řízené akumulátory mají několik typů kladných elektrod [5]. Pro všechny typy je společné, že použitý nabíječ nesmí mít střídavou složku svého stejnosměrného napětí vyšší než 2 % a velikost svého napětí musí upravovat podle teploty akumulátoru.

Typ OPzV: Jsou vhodné pro bezúdržbové provozu. Vyrábějí se v kapacitách 200 až 3000 Ah. Kolektory trubkových elektrod jsou vyrobeny ze slitiny Pb-Se-Ca-Sb1%. Jako elektrolyt je použita kyselina sírová ztužená gelem. Víka článků jsou opatřena přetlakovým ventilem a celá nádoba je odolná proti nárazům. V režimu trvalého dobíjení jsou nabíjeny na hodnotu 2,23 V/článek při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [5]. Rozsah pracovních teplot je v rozmezí -10 až $+45 \text{ }^\circ\text{C}$. Vnitřní elektrický odpor bývá kolem $3 \text{ m}\Omega/100 \text{ Ah}$.

Typ VbV: Jejich elektrody jsou tyčové. Kolektory elektrod jsou vyrobeny ze slitiny olova a vápníku. Jako elektrolyt je použita kyselina sírová ztužená gelem SiO_2 . Akumulátory se vyrábějí v kapacitách 21 Ah až 280 Ah [5]. Vybíjecí doby se pohybují v rozmezí 10 min až 10 h.

Typ SLA (OGiV): Jejich elektrody jsou mřížkové. Jako elektrolyt je použita kyselina sírová o hustotě $1,3 \text{ g/cm}^3$ nasáknutá v separátorech ze skelných vláken (systém AGM). V režimu trvalého dobíjení jsou nabíjeny na hodnotu $2,27 \text{ V/článek}$. Při 20 °C ztrácejí samovybíjením 2% kapacity za měsíc [5]. Mají velmi malý vnitřní odpor, kolem $0,5 \text{ m}\Omega/100 \text{ Ah}$, což umožňuje vybíjení velmi vysokými vybíjecími proudy (až jednodominutovými).

Typ FG, FGH, FGC: Jsou označovány jako levné akumulátory. Typy FG a FGH jsou určeny pro trvalé dobíjení na napětí $2,27 \text{ V/článek}$ při 20 °C , typ FGC je určen pro cyklický provoz např. přístrojů s vlastním napájením, jako jsou videokamery nebo přenosné televizory [5]. V cyklickém režimu se nabíjí na hodnotu napětí $2,45 \text{ V/článek}$ až $2,50 \text{ V/článek}$. V režimu trvalého dobíjení dosahují akumulátory životnosti 3 až 5 let.

Uskladnění staničních akumulátorů: Způsoby uskladnění akumulátorů se liší v závislosti na délce skladování a na stavu, v jakém se akumulátory nachází [2]. Jiné podmínky platí pro akumulátory suché, se zaplavenými elektrodami, nebo ventilem řízené.

Akumulátory v suchém stavu se uskladňují v krytých a suchých prostorech, kde akumulátor nebude vystaven vlivu plynů a par. Při skladování akumulátorů po delší dobu je potřeba zamezit přístupu vzdušné vlhkosti a kyslíku k záporným elektrodám, například přelepením průduchů páskou. Přestože suché akumulátory snášejí nízké i vysoké teploty docela dobře, je vhodné, aby se teploty pohybovaly v rozmezí 0 až 30 °C [5]. Uskladněné suché akumulátory postupně ztrácejí elektrický náboj, čímž se prodlužuje jejich uvedení do provozu.

Akumulátory se zaplavenými elektrodami a akumulátory řízené ventilem jsou skladovány v provozuschopném stavu. Jejich dlouhodobé skladování však není vhodné, protože neustále probíhají chemické reakce uvnitř článku, které zkracují životnost akumulátorů. Před uskladněním je potřeba akumulátory plně nabít a při dlouhodobém skladování je třeba akumulátory nabíjet v určitých intervalech, popřípadě dobíjet trvale.

Interval nabíjení je závislý na velikosti samovybíjení, a to je závislé na teplotě okolí, konstrukci a stáří akumulátoru. Napětí akumulátoru během skladování nesmí klesnout pod hodnotu $2,05 \text{ V/článek}$. Při trvalém dobíjení se akumulátor se zaplavenými elektrodami nabíjí na hodnotu napětí $2,23 \text{ V/článek} \pm 1 \%$ při 20 °C , akumulátor řízený ventilem se nabíjí na hodnotu napětí podle konstrukce buď na $2,23 \text{ V/článek}$ nebo

2,27 V/článek $\pm 1 \%$ podle teploty. Pokud je teplota nižší než 20 °C, napětí se zvýší o 0,003 V na 1 °C [5]. Pokud je teplota vyšší než 20 °C, napětí se sníží o 0,003 V na 1 °C.

Znaky plného nabití olověného akumulátoru [5]: Pro akumulátory se zaplavenými elektrodami v cyklickém provozu se stav plného nabití určuje pomocí několika kritérií. Za prvé se hlídá hodnota nejvyššího napětí akumulátoru, kterého se dosáhne při nabíjení charakteristikou I a která se po dobu 2 až 4 hodin (podle nabíjecího proudu) dále nemění (viz Obr. č. 7). Druhé kritérium souvisí s nabíjením charakteristikou U , kde se hlídá pokles nabíjecího proudu. Nejnižší hodnota proudu, které se při nabíjení dosáhne, se nesmí měnit po následujících 4 až 6 hodin (podle napětí). Dalším kritériem je hodnota hustoty elektrolytu při nabíjení charakteristikou I . Nejvyšší hodnota, které se dosáhne při nabíjení, se po následující 2 až 4 hodiny nemění, popřípadě pokud se dále pokračuje v nabíjení charakteristikou U , hodnota hustoty elektrolytu se nesmí měnit po následujících 4 až 6 hodin.

Pro akumulátory se zaplavenými elektrodami v režimu trvalého dobíjení se stav plného nabití určuje podle poklesu nabíjecího proudu na nejnižší hodnotu, která se nemění po následujících 16 až 24 hodin. Dále pokud je napětí bateriových bloků již vyrovnané a nadále se nemění a podle hustoty elektrolytu, která je na svém maximu a po následujících 16 až 24 hodin se již nemění.

Pro akumulátory řízené ventilem se stav plného nabití určuje při cyklickém provozu dosažením napětí určeného výrobcem (2,40 V/článek až 2,47 V/článek při 20 °C) a poklesem nabíjecího proudu na nejnižší hodnotu, která se nemění po následující 2 až 4 hodiny [5]. Při režimu trvalého dobíjení na konstantní napětí 2,23 V/článek až 2,30 V/článek při 20 °C se hlídá pokles nabíjecího proudu na nejnižší hodnotu, která se po následujících 16 hodin nemění.

2.2.1.2 NiCd akumulátor

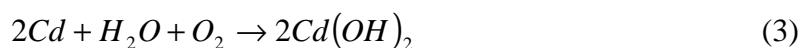
První niklkadmiový akumulátor vytvořil Švéd W. Jungner tím, že v tzv. Edisonově železoniklovém akumulátoru nahradil železo jako aktivní látku záporné elektrody kadmíem [6]. Průmyslová výroba niklkadmiových akumulátorů započala v období po druhé světové válce.

Vztah (2) je zjednodušený popis elektrochemických dějů, které probíhají při vybíjení niklkadmiových akumulátorů (při nabíjení probíhají reakce v opačném sledu).



Jako elektrolyt je většinou použit hydroxid draselný (KOH) rozpuštěný ve vodě. Při nabíjení dochází na kladné elektrodě k přeměně dvojmocného niklu na trojmocný a na záporné elektrodě se hydroxid kademnatý mění na kovové kadmium. U hermeticky uzavřeného akumulátoru musí mít záporná elektroda větší kapacitu než elektroda kladná, aby při plném nabití kladné elektrody existovala část záporné elektrody v nenabitém stavu. Důvodem pro rozdílnou kapacitu elektrod je fakt, že pokud dojde k přebíjení akumulátoru, nastává elektrolýza vody. Záporná elektroda má schopnost vázat kyslík, který se při elektrolýze vody uvolňuje na kladné elektrodě [6]. Tento děj se nazývá rekombinace.

U otevřených akumulátorů se uvolňující se kyslík a vodík odvádí do atmosféry. Vztah (3) je zjednodušený popis chemických dějů, které probíhají při přebíjení akumulátoru.



Energie, která je akumulátoru dodána, se mění na teplo a článek se zahřívá.

Přednosti niklkadmiových akumulátorů jsou zejména spolehlivost, životnost, velmi rychlé nabíjení některých typů, velké odebírané proudy, rozsah pracovních teplot a další vlastnosti uvedené u jednotlivých typů [6]. Mezi nevýhody niklkadmiových akumulátorů patří klasifikace kadmia jako látky škodlivé životnímu prostředí a neschopnost určit zbytkovou kapacitu podle napětí akumulátoru.

Niklkadmiové akumulátory je možné rozdělit podle jejich vlastností a způsobu použití na:

- Akumulátory pro všeobecné použití [6]. Tento typ akumulátorů vyniká vysokou spolehlivostí, životností, mechanickou odolností a velkým rozsahem teplot při vybíjení (-40 °C až +60 °C). Pro tyto vlastnosti mají svoje nezastupitelné místo ve vojenské, lékařské a kosmické technologii. U většiny z nich lze použít zrychlené nabíjení. Nevýhodou tohoto typu je nižší kapacita.

- Akumulátory se zvýšenou kapacitou. Jak vyplývá z názvu, tento typ akumulátoru vyniká vyšší kapacitou, dále pak nízkou hmotností a dlouhou výdrží na jedno nabití. Proto se tento typ často používal v mobilních telefonech, videokamerách, notebookech, nebo měřicích přístrojích [6]. Dnes jsou často nahrazovány akumulátory Li-Ion. Nevýhodou tohoto typu je menší klimatická odolnost, nižší zátěžové proudy a vyšší samovybíjení.

- Akumulátory pro extrémně rychlé nabíjení a vybíjení. Tento typ akumulátorů se vyznačuje extrémně malou vnitřní impedancí a s tím spojenými velkými vybíjecími proudy a velmi rychlým nabíjením. Proto se nejvíce popoužívají k pohonu modelů lodí, letadel a pro akumulátorové nářadí [6]. V těchto aplikacích je pro jejich dlouhou životnost nelze nahradit.

Nevýhodou tohoto typu je nižší kapacita a vyšší samovybíjení.

- Komerční akumulátory [6]. Tento typ akumulátorů se nejčastěji používá jako náhrada primárních článků. Nejprodávanější typ je AA. Jsou vhodné pro nabíjení komerčními nabíječi.

- Akumulátory pro záložní a záskokové zdroje. Tento typ akumulátorů dobře pracuje za zvýšených teplot, vyznačuje se malým samovybíjením a vyšší životností při dlouhodobém přebíjení. Jsou určeny pro záložní zdroje, UPS, nouzové osvětlení. Tento typ akumulátoru však není určen pro velké proudové odběry. Také u nich lze použít jen normální nabíjení (0,1 C) nebo trvalé dobíjení [6]. Životnost těchto akumulátorů se udává v rozmezí 3 až 5 let, ovšem počítá se pouze s 50 až 100 cykly.

Uskladnění NiCd akumulátorů: NiCd akumulátory se uskladňují v suchém a čistém prostředí. Plastové nádoby je potřeba chránit proti škůdcům, kteří je mohou znehodnotit. NiCd akumulátory se uskladňují v prostorách s teplotou vyšší než 0 °C a nižší než 30 °C a nesmí se skladovat společně s akumulátory olovenými. Před uskladněním se akumulátory doplní vodou, vybijí se přibližně na 50 % jmenovité kapacity, kovové části se nakonzervují a utěsní se zátky, aby se zabránilo vnikání vzdušného CO₂ [6]. Takto připravené akumulátory se uskladňují po dobu maximálně jednoho roku.

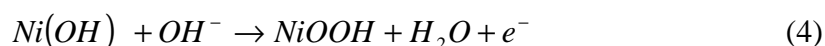
Při skladování na delší dobu (několik let) je vhodné akumulátory vybit na napětí 1 V/článek, odstranit elektrolyt a akumulátor očistit teplou vodou. Kovové součásti

akumulátoru je třeba nakonzervovat a pryžové části osušit [6]. Kaly z akumulátoru jsou vysoce toxické (hydroxid kademnatý a hydroxid nikelnatý) a je potřeba je zlikvidovat ekologicky vhodným způsobem.

2.2.1.3 NiMH akumulátor

Počátky výroby NiMH akumulátorů sahají do osmdesátých let 20. století. Cílem bylo nahradit ekologicky škodlivé niklkadmiové akumulátory [6]. Nejprve měly NiMH akumulátory problémy s vysokým samovybíjením a vysokou cenou, ale na počátku 21. století již patřily k běžným výrobkům.

Vztah (4) je zjednodušený popis elektrochemických dějů, které probíhají při vybíjení NiMH akumulátorů (při nabíjení probíhají reakce v opačném sledu).



Tento vztah ukazuje, že změny probíhající při nabíjení a vybíjení u NiMH a NiCd akumulátorů jsou shodné [6]. Je to dáno tím, že kladné elektrody obou typů akumulátorů mají stejnou konstrukci a stejné složení aktivní hmoty.

Vztah (5) je zjednodušený popis chemických dějů, které probíhají při přebíjení akumulátoru.



Při přebíjení akumulátoru se z kladné elektrody uvolňuje kyslík. Tento kyslík prochází skrz porézní separátor na zápornou elektrodu. Z toho důvodu musí být akumulátor navrhnutý tak, aby při plném nabití kladné elektrody existovala část záporné elektrody v nenabitěm stavu [6]. Kyslík je na záporné elektrodě redukován, jak ukazuje vztah (6).



Díky rekombinaci na záporné elektrodě, kdy je elektroda současně oxidována, nedochází k plnému nabití elektrody a při následném přebíjení se z elektrody nemůže uvolňovat vodík [6]. Tento děj umožňuje konstruovat NiMH akumulátory jako hermeticky uzavřené.

NiMH akumulátory se nerozdělují do několika kategorií podle vlastností a způsobu použití jako akumulátory NiCd [5]. Téměř všechny vyráběné akumulátory by bylo možno zařadit do kategorie akumulátorů se zvýšenou energií.

Předností NiMH akumulátorů ve srovnání s akumulátory NiCd je především menší zátěž pro životní prostředí a vyšší kapacita článků [6]. K nevýhodám NiMH akumulátorů patří větší samovybíjení, vyšší cena, menší rozsah pracovních teplot a menší vybíjecí proudy.

Nabíjet NiMH akumulátory lze pouze normálním nabíjením, konzervačním nabíjením a trvalým nabíjením [6]. Pro indikaci plného nabití a ukončení nabíjení lze použít metodu $-\Delta V$ sledující pokles napětí o 5 mV na článek.

Uskladnění NiMH akumulátorů: NiMH akumulátory se uskladňují v dobře větraných prostorách s relativní vlhkostí přibližně 50 % při teplotách mezi -20 až +35 °C. Teplota prostředí má velký vliv na samovybíjení akumulátorů. Čím vyšší teplota, tím vyšší samovybíjení. Ztráty kapacity samovybíjením jsou ovšem vratné [5]. Akumulátor se po dlouhodobém skladování (déle než 1 rok) vystaví třem nabíjecím a vybíjecím cyklům, čímž se dosáhne plné kapacity.

2.2.2 Nabíjení akumulátorů

Způsob nabíjení akumulátoru charakterizuje závislost mezi výstupním napětím a nabíjecím proudem. Hovoříme zde o třech základních nabíjecích charakteristikách, přičemž v praxi se používají i jejich kombinace.

Zkratky používané k popisu nabíjecích charakteristik podle norem VDE [5]:

I – Nabíjení konstantním proudem.

U – Nabíjení konstantním napětím.

W – Klesající charakteristika.

a – Automatické ukončení nabíjení.

o – Samočinné přepínání na jinou charakteristiku.

Zkratky se uvádí v pořadí, v jakém se daná charakteristika vyskytuje v nabíjecím procesu.

Charakteristika U – Nabíjení konstantním napětím. V první fázi po připojení vybitého akumulátoru k nabíječi protéká akumulátorem velký proud. Velikost proudu se snižuje s rostoucím napětím akumulátoru [7]. Hodnota nabíjecího napětí musí být nastavena na plynovací napětí daného akumulátoru.

Tato charakteristika nabíjení nám dává možnost nabíjet více akumulátorů zapojených paralelně. Hodnota nabíjecího napětí, počátečního nabíjecího proudu a konečného nabíjecího proudu se liší v souvislosti s použitým typem akumulátoru. Jiné hodnoty platí pro olověný, niklkadmiový nebo stříbrnozinkový.

U *olověného* akumulátoru se nastavuje hodnota nabíjecího napětí 2,4 V na článek, počáteční hodnota nabíjecího proudu v rozmezí 0,6 až 1,2 C (kde C je kapacita akumulátoru udaná výrobcem v Ah) a konečná hodnota nabíjecího proudu maximálně 0,002 C. U akumulátoru *niklkadmiového* se nastavuje hodnota nabíjecího napětí 1,65 až 1,72 V na článek, počáteční hodnota nabíjecího proudu v rozmezí 0,4 až 0,6 C a konečná hodnota nabíjecího proudu maximálně 0,07 C [7]. U akumulátoru *stříbrnozinkového* se nastavuje hodnota nabíjecího napětí 2,1 V na článek.

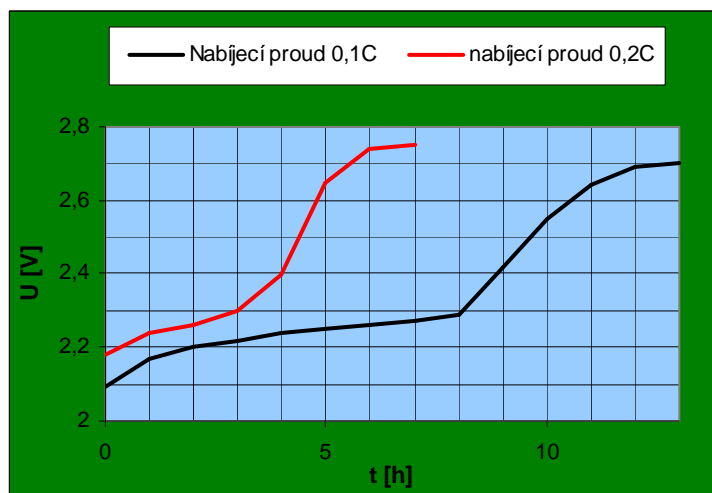
Výhodou nabíjení charakteristikou U je rychlost nabíjení a také skutečnost, že na konci nabíjecího procesu teče akumulátorem jen minimální proud, což nám umožňuje přebíjení i o několik hodin.

Charakteristika I - Nabíjení konstantním proudem. U této charakteristiky nabíjení snadno zjistíme, kolik energie jsme akumulátoru dodali [7]. Je to součin nabíjecího proudu a doby, po kterou jsme akumulátor nabíjeli.

Oproti nabíjení charakteristikou U je ovšem doba nabíjení podstatně vyšší. Tato vlastnost se dá do jisté míry kompenzovat použitím vícestupňového nabíjení, tj. přepnutím velikosti nabíjecího proudu. Ke konci nabíjení se použije proud o nižší hodnotě, a tím se také sníží nebezpečí přebíjení akumulátoru [7]. U kvalitnějších nabíječů se o ochranu akumulátorů před přebíjením stará také časový spínač, popřípadě doplněný automatikou hlídající nabití akumulátoru.

Nabíjecí proud se volí podle způsobu proudového nabíjení. Rozlišujeme několik způsobů nabíjení:

Normální nabíjení – Při tomto způsobu nabíjení se volí nabíjecí proud 0,1 C a doba nabíjení činí 12 až 16 hodin. Teplotní rozsah se pohybuje v rozmezí 0 až 50 °C pro provozní nabíjení [6]. Normální nabíjení je vhodné pro akumulátory, které byly delší dobu skladovány.



Obr. č. 7 Průběh napětí při nabíjení olověného akumulátoru charakteristikou *I*
převzato a upraveno z [5]

Zrychlené nabíjení – Při tomto způsobu nabíjení se volí nabíjecí proud 0,3 C po dobu nabíjení 4 až 5 hodin, popřípadě 0,2 C po dobu nabíjení 6 až 8 hodin [6]. Teplotní rozsah povolený u tohoto způsobu nabíjení se ohýbuje v rozmezí 5 až 50 °C, v případě nabíjení po dobu 4 až 5 hodin je horní hranice pouze 35 °C.

Rychlé nabíjení – Při tomto způsobu nabíjení se volí nabíjecí proud 0,5 C až 1 C po dobu nabíjení 1 až 2 hodiny. Teplotní rozsah povolený u tohoto způsobu nabíjení se pohybuje v rozmezí 10 °C až 40 °C [6]. U rychlého způsobu nabíjení je vhodnější použít ukončení nabíjení hlídání napětím nebo teplotou než nabíjení časové.

Velmi rychlé nabíjení – Při tomto způsobu nabíjení se volí nabíjecí proud 1 C až 4 C po dobu nabíjení 15 minut až 1 hodina. Používá se pro NiCd akumulátory speciálně určené pro profesionální akumulátorové nářadí [6]. Hlídání okamžiku ukončení nabíjení se provádí současně až čtyřmi způsoby.

Trvalé dobíjení – Při tomto způsobu nabíjení se volí nabíjecí proud 0,05 až 0,06 C a nabíjení je časově neomezené [6]. Akumulátory, které jsou výrobcem přímo určené pro trvalé nabíjení, jsou nabíjeny proudem až 0,1 C, který odpovídá nabíjecímu proudu při normálním nabíjení.

Konzervační nabíjení – Tento způsob nabíjení se používá pro dlouhodobé udržení akumulátoru v plně nabitém stavu [6]. Velikost proudu při konzervačním nabíjení se pohybuje v rozmezí 0,025 až 0,05 C.

Nespornou výhodou nabíjení konstantním proudem je zkratuvzdornost nabíječů. Nevýhodou této nabíjecí charakteristiky je, že pokud napětí přesáhne 2,4 V/článek, dochází k přetěžování elektrod. S tím souvisí zvyšování intenzity plynování, zvyšuje se elektrolýza vody a koroze mřížek kladných elektrod. Pro omezení tohoto negativního jevu lze použít dvoustupňového nabíjení (*IoI*). Při tomto nabíjení se v prvním stupni nastaví nabíjecí proud na $I_1=0,1C_{10}$ a po dosažení napětí 2,4 V/článek se přepne na druhý stupeň s nabíjecím proudem $I_2=0,05C_{10}$ [5]. Další možností je použít kombinaci základních nabíjecích charakteristik, např. *IU* nebo *IUI*.

Charakteristika W – Při této nabíjecí charakteristice se nabíjecí proud snižuje úměrně zvyšujícímu se svorkovému napětí akumulátoru. Počáteční nabíjecí proud je menší než u charakteristiky *U* a klesá až na hodnotu konečného vybíjecího proudu. Následně je potřeba nabíječ vypnout, ručně či automaticky. [7] U olověných akumulátorů je počáteční nabíjecí proud $0,1 C_N$ až $0,3 C_N$ a konečný $0,05 C_N$ [5].

Nabíječe s touto charakteristikou jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Jejich transformátor je vybaven omezující impedancí, která určuje sklon charakteristiky [7]. Podle druhu akumulátoru je nutné zvolit jiný sklon charakteristiky, čehož dosáhneme použitím transformátoru s odbočkami, popřípadě přepínáním omezovacích rezistorů.

Charakteristika WoW – Při této charakteristice se nabíjí ve dvou stupních, kdy počáteční proud je vyšší než při klasické charakteristice *W*. Během nabíjení (zvyšující se napětí) proud klesá až do plynovacího napětí, následně je velikost proudu snížena a nabíjení pokračuje. Proud má opět klesající charakter. Konečný nabíjecí proud nesmí být vyšší než $0,025 C_5$ [5]. Ukončení nabíjení je možné hlídáním času nabíjení, při dosažení plynovacího napětí ve druhém stupni nabíjení, nebo po dodání předem určeného náboje.

Charakteristika IU nebo WU - Při této charakteristice se nabíjí také ve dvou stupních, kdy se v prvním stupni nabíjí velkým konstantním nebo mírně klesajícím proudem. Následuje druhý stupeň, kdy se nabíjí konstantním plynovacím napětím. Při této

charakteristice je možné nabíjet více akumulátorů zapojených paralelně [5]. Akumulátory však musejí mít stejné jmenovité napětí.

Charakteristika IUW – Při této charakteristice nabíjení je průběh stejný jako u předešlé charakteristiky. Rozdíl je pouze v tom, že na konci nabíjení se zvyšuje napětí z důvodu zkrácení doby nabíjení [5]. Konečný nabíjecí proud nesmí překročit $0,02 C_5$.

Charakteristika IUa – Při této charakteristice se nabíjí ve třech stupních. V prvním stupni se nabíjí konstantním proudem až do plynovacího napětí. (Hodnota plynovacího napětí je závislá na teplotě, proto je vhodné tuto hodnotu regulovat.) Poté následuje druhý stupeň, kdy se nabíjí konstantním plynovacím napětím a současně klesá proud. Ve třetím stupni se nabíjí opět konstantním proudem až do plného nabití. Hodnota tohoto proudu je $0,05 C_5$ [5]. Nabíjení se ukončí po daném časovém úseku, nebo po dodání potřebného množství náboje.

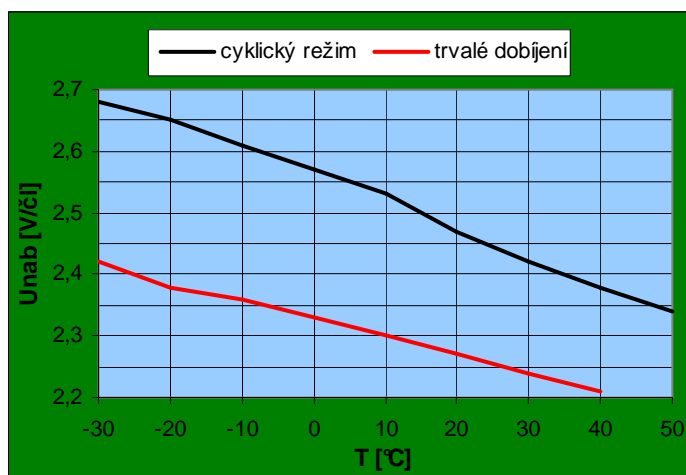
Charakteristika IUoU – Tato charakteristika se hodí pro nabíjení staničních akumulátorů. Nabíjí se ve třech stupních. V prvním stupni se nabíjí velkým (ale omezeným) konstantním proudem. Ve druhém stupni se nabíjí konstantním napětím. Ve třetím stupni se nabíjí konstantním napětím, které má hodnotu sníženou na udržovací napětí, jež může být navíc regulováno podle teploty [5]. Nabíjení může probíhat při současném připojení zátěže.

Nabíjení olověných akumulátorů:

Olověné akumulátory se nabíjejí proudy $0,1 C_N$ až $0,3 C_N$ do hodnoty napětí akumulátoru $2,4 \text{ V/článek}$ (pokud výrobce neuvádí jiné hodnoty). Pokud se u akumulátorů se zaplavenými elektrodami pokračuje v nabíjení na vyšší napětí, musí se snížit nabíjecí proud na $0,05 C_N$ až $0,06 C_N$ a nabíjení se ukončí. U uzavřených větraných akumulátorů se velikost konečného nabíjecího napětí může pohybovat od $2,4$ do $2,7 \text{ V/článek}$.

Akumulátory řízené ventilem v cyklickém režimu se nabíjejí do plynovacího napětí. Toto napětí má hodnotu $2,40$ až $2,47 \text{ V/článek}$ při 20 °C (pokud výrobce neuvádí jiné hodnoty). Vyšší napětí zkracuje životnost akumulátorů, nižší napětí prodlužuje dobu nabíjení [5]. Velikost nabíjecího napětí je třeba regulovat v závislosti na teplotě akumulátoru (viz Obr. č. 8).

Při trvalém dobíjení olověných akumulátorů se kompenzují ztráty kapacity při samovybití. Velikost dobíjecího proudu je závislá na konstrukci akumulátoru, hodnotě konstantního napětí, teplotě okolí, hustotě elektrolytu a stáří akumulátoru. Velikost dobíjecího proudu se pohybuje od 0,0002 do 0,001 C_N [A] [5]. U ventilem řízených akumulátorů musí být napětí regulováno v závislosti na teplotě (viz Obr. č. 8).



Obr. č. 8 Teplotní kompenzace nabíjecího napětí - převzato a upraveno z [5]

Stupeň nabití (vybití) olověných staničních akumulátorů se zaplavenými elektrodami a akumulátorů AGM lze orientačně zjistit změřením svorkového napětí akumulátoru bez zátěže [5]. Přibližné hodnoty napětí v závislosti na stupni nabití (vybití) akumulátoru jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tab. 3 Přibližné hodnoty napětí 12V staničních akumulátorů v závislosti na stupni nabití. Převzato a upraveno z [2]

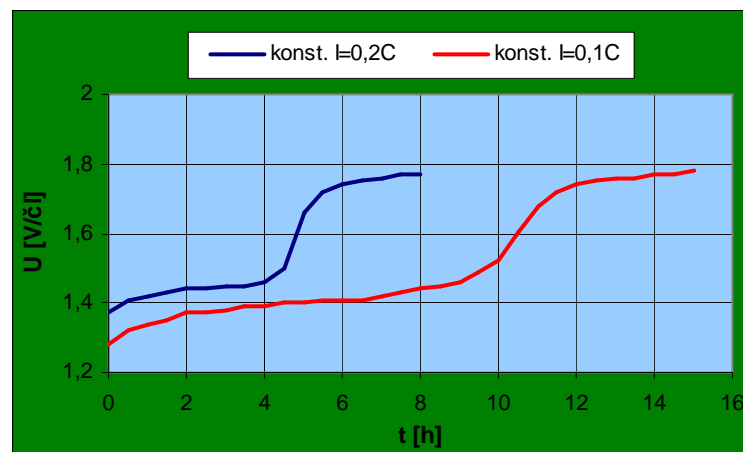
Elektrický náboj [%]	100	75	50	25
Akumulátory se zaplavenými elektrodami [V]	12,65	12,45	12,25	12,05
Akumulátory AGM řízené ventilem [V]	12,84	12,48	12,12	11,82

Nabíjení NiCd akumulátorů [5]:

Při nabíjení NiCd akumulátorů je třeba hlídat teplotu elektrolytu. Ta nesmí přesáhnout 45 °C. Pro účely záložního napájení jsou určeny tzv. akumulátory pro záložní

a záskokové zdroje. Tyto akumulátory lze nabíjet pouze normálním nabíjením nebo trvalým dobíjením.

Při normálním nabíjení se nabíjí proudem $0,1 C_N$ po dobu 15 hodin, popřípadě proudem $0,2 C_N$ po dobu 7,5 hodiny [5]. Nabíjením se dodá akumulátoru $150 \% C_N$. Ukázka průběhu napětí NiCd akumulátoru při normálním nabíjení (charakteristika I) na $150 \% C_N$ při $20\text{ }^\circ\text{C}$ je zobrazena na Obr. č. 9.



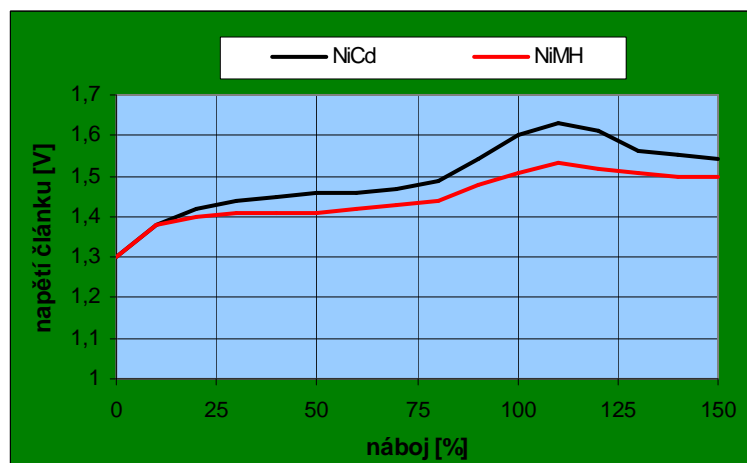
Obr. č. 9 Průběh napětí NiCd akumulátoru při normálním nabíjení.

Převzato a upraveno z [2]

Při trvalém dobíjení NiCd akumulátorů se kompenzují ztráty kapacity při samovybíjení. Akumulátory se nabíjejí na hodnotu $1,38\text{ V/článek}$ až $1,43\text{ V/článek}$ [5]. Proud trvalého dobíjení se nastavuje v rozmezí $0,002 C_N$ až $0,006 C_N$.

Nabíjení NiMH akumulátorů [5]:

Akumulátory NiMH se svou nabíjecí napěťovou charakteristikou podobají akumulátorům NiCd (viz Obr. 10), ale napěťový pík na konci nabíjení není tak výrazný jako u NiCd.



Obr. č. 10 Nabíjecí křivky NiCd a NiMH akumulátorů -
převzato a upraveno z [5]

Při normálním nabíjení se nabíjí proudem $0,1 C_N$ po dobu 15 až 16 hodin, kdy se do článku vloží 150 až 160 % náboje a zabrání se přebíjení akumulátoru. Rozmezí teplot při normálním nabíjení se pohybuje mezi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při trvalém dobíjení se nabíjí proudem $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotách $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. Trvalé dobíjení je možné použít po všech ostatních způsobech nabíjení.

2.3 Metody měření kapacity zdrojů

Kapacitou nazýváme schopnost článku přijímat elektrický náboj. Kapacita se značí písmenem C a určuje se v ampérhodinách.

Nejčastěji používaný způsob měření kapacity akumulátorů je vybíjení akumulátoru konstantním proudem. Měří se svorkové napětí na akumulátoru.

Pokud se hodnota napětí dostane k hodnotě konečného vybíjecího napětí (dané typem akumulátoru), změříme dobu vybíjení. Výsledná kapacita je dána vztahem (7),

$$C = \frac{U_p \cdot t}{R} \text{ [Ah]} \quad (7)$$

kde U_p je hodnota průměrného svorkového napětí [V],

t je čas, po který byl akumulátor vybíjen [h],

R je zatěžovací odpor [Ω].

Velikost zatěžovacího rezistoru lze stanovit podle vzorce (8),

$$R_x = \frac{U_N \cdot 1,05}{I_V} [\Omega] \quad (8)$$

kde U_n je jmenovité napětí akumulátoru [V],

I_V je vybíjecí proud [A],

1,05 je činitel zvyšující jmenovité napětí na skutečnou počáteční hodnotu.

Při vybíjení konstantním proudem je nutné regulovat hodnotu zatěžovacího rezistoru. Podle snižujícího se napětí akumulátoru se hodnota odporu zatěžovacího rezistoru snižuje o 10 až 15 %.

Kapacita akumulátoru je ovlivňována dalšími vlivy, jako jsou teplota, hustota elektrolytu, počtu vybíjecích a nabíjecích cyklů atd. [7]. Hodnota kapacity udaná výrobcem je vždy nejmenší zaručená kapacita.

U olověných staničních akumulátorů se provádí měření kapacity vybíjením akumulátoru konstantním proudem $0,1C_{10} \pm 1\%$ [A] do konečného vybíjecího napětí 1,8 V/článek. Napětí na akumulátoru (pokud je možno, tak na článcích) se změří před začátkem vybíjení a následně v hodinových intervalech. Po dosažení hodnoty napětí 1,85 V/článek se měří v intervalech 15, 10 a 5 minut až do poklesu napětí na hodnotu 1,8 V/článek a při dosažení této hodnoty se vybíjení ukončí (pro 12V akumulátor složený ze šestičlánekového bloku, kde není možnost změřit napětí na jednotlivých článcích, činí hodnota konečného vybíjecího napětí 10,8 V). [5]

Z výsledků měření lze stanovit kapacitu akumulátoru podle vzorce (9)

$$C_p = I_V \cdot t \text{ [Ah]}, \quad (9)$$

kde C je kapacita akumulátoru [Ah],

v je střední teplota elektrolytu (případně nádoby u VRLA akumulátorů) během měření kapacity [°C],

I_V je vybíjecí proud [A],

t je doba vybíjení [h].

Další možností měření kapacity akumulátorů je měření vnitřní vodivosti akumulátoru. Vnitřní vodivost je přímo úměrná kapacitě akumulátoru. Vnitřní vodivost je rovna převrácené hodnotě vnitřního odporu a ten máme možnost změřit. V tabulce č. 4 jsou uvedeny přibližné hodnoty vnitřního odporu olověných akumulátorů podle druhu použitých elektrod [5]. Vnitřní odpor akumulátoru R_i se měří pomocí voltmetru s velkým vnitřním odporem, kdy prvně změříme napětí naprázdno U_0 , a poté změříme napětí na zatíženém článku. Vnitřní odpor je dán vztahem (10),

$$R_i = \frac{R \cdot (U_0 - U)}{U} \quad (10)$$

kde R_i je hodnota vnitřního odporu článku,

R je hodnota zatěžovacího odporu,

U_0 je hodnota svorkového napětí nezatíženého článku,

U je hodnota svorkového napětí zatíženého článku.

Při měření vnitřního odporu článku R_i není nutné akumulátor vybit. Měření nám nedává tak přesné hodnoty jako předcházející metoda, je ale mnohem rychlejší.

Tab. 4 Přibližná velikost vnitřního elektrického odporu olověných staničních akumulátorů – převzato a upraveno z [5]

Typ Akumulátoru	Ri článku [Ω/Ah]
S velkopovrchovými kladnými elektrodami	0,10
S tyčovými kladnými elektrodami	0,12
S trubkovými kladnými elektrodami	0,30
Ventilem řízené s elektrolytem v gelu (trubkové elektrody)	0,30
Ventilem řízené AGM se separátory ze skelných vláken	0,05

3 Návrh technického řešení

3.1 Vlastní návrh a analýza

Před realizací projektu je potřeba navrhnout jednotlivé obvody, ze kterých se bude dobíjecí zdroj skládat, a zvolit nejvhodnější komponenty. Tento návrh bude podrobněji popsán v následující kapitole.

3.1.1 Analýza požadavků na dobíjecí zdroj

Cílem je navrhnout automatický dobíjecí zdroj vhodný pro nabíjení akumulátorů používaných pro záložní napájení systémů při výpadku síťového napětí. Zdroj musí být schopen změřit svorkové napětí akumulátoru, podle zvoleného typu baterie nastavit optimální charakteristiku a průběh nabíjení a zpětně reagovat na měnící se stav nabití akumulátoru.

Dále musí být schopen zobrazit hodnoty nabíjecího napětí a proudu při nabíjení a čas nabíjení.

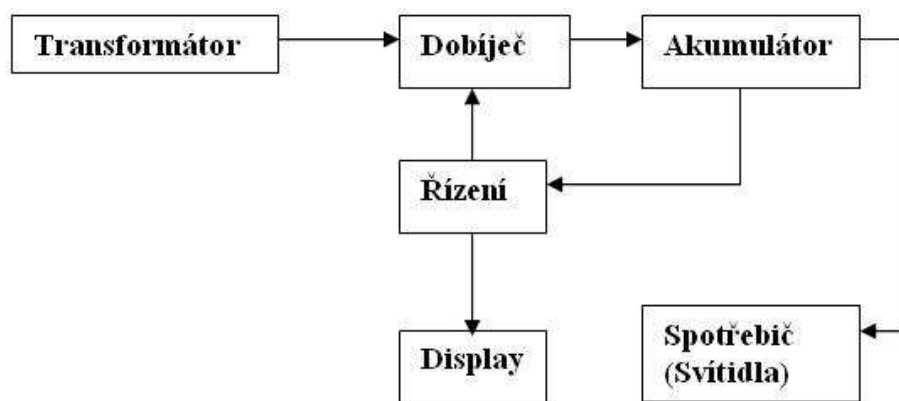
Z hlediska bezpečnosti musí být galvanicky oddělen od síťového napětí vhodným transformátorem a umístěn v krytu s vhodnou izolací.

Nabíjení baterií o jmenovitém napětí až 12 V. Maximální požadovaný výstupní proud až 6 A, který umožní nabíjet akumulátory o kapacitě až 60 Ah při nabíjení charakteristikou I v tzv. normálním režimu nabíjení (viz kapitola 3.2.2).

3.1.2 Celková koncepce automatického dobíječe zdrojů

Na blokovém schématu (viz obr. č. 12) jsou znázorněny jednotlivé části projektu dobíjecího zdroje.

Základním prvkem je transformátor potřebného výkonu, následuje vlastní nabíjecí obvod regulující napětí a proud podle pokynů řízení, informace o průběhu nabíjení jsou zobrazovány na display.



Obr. č. 12 Blokové schéma automatického dobíječe.

3.2 Návrh hardwaru

V této kapitole bude popsán základní princip činnosti jednotlivých částí dobíječe a kritéria pro výběr nejvhodnějších řešení tak, aby nejlépe vyhovovala způsobu použití.

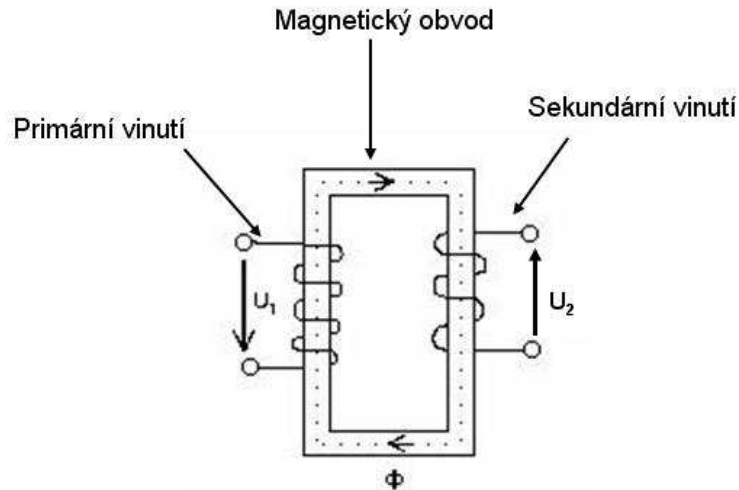
3.2.1 Výběr transformátoru

Transformátor můžeme definovat jako elektrický netočivý stroj, který využívá elektromagnetické indukce pro přenos elektrické energie z primárního vinutí do vinutí sekundárního. Mění energii elektrickou opět na energii elektrickou, ovšem s jinými parametry [8]. Transformuje velikost elektrického napětí a proudu při nezměněné frekvenci (z pravidla 50 Hz). Může být také použit pouze jako galvanické oddělení obvodu.

Princip činnosti síťového transformátoru vychází z fyzikálního principu zákona o elektromagnetické indukci, který říká, že při časových změnách magnetického pole v okolí uzavřeného elektrického obvodu dochází ke vzniku elektrického pole uvnitř obvodu, na koncích obvodu se nachází indukované napětí [8]. Tento zákon vyslovil Michael Faraday v roce 1831 (viz Vztah 11):

$$u_i = -N \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad [\text{V}; \text{Wb}, \text{s}] \quad (11)$$

kde u_i je indukované napětí, N je počet závitů a $\frac{d\phi}{dt}$ je změna magnetického toku v čase.



Obr. č. 13 Schéma transformátoru

Střídavý proud procházející primárním vinutím vytváří magnetické pole, které je soustředěno do železného jádra a změna magnetického indukčního toku indukuje v sekundárním vinutí. Proud i protékající cívku vytváří v této cívce vlastní indukční tok Φ úměrný protékajícímu proudu i . Tato úměrnost je dána Vztahem 12:

$$\Phi = L \cdot i , \quad (12)$$

kde L je vlastní indukčnost cívky.

Pokud se proud i procházející cívku bude měnit, bude se podle Faradayova indukčního zákona v závitech cívky indukovat elektromotorické napětí [9].

U ideálního transformátoru neuvažujeme žádné ztráty a změna účinníku je tedy nulová

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 , \quad (13)$$

a platí tedy
$$P_1 = P_2 , \quad (14)$$

pak dostáváme vztah pro převod transformátoru ve tvaru (15)

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (15)$$

Ze vztahu vyplývá, že napětí se transformuje úměrně počtu závitů a proud se transformuje neúměrně počtu závitů. V praxi to znamená, že do vinutí s menším počtem závitů se transformuje menší napětí, ale větší proud [9]. Pokud je p menší

než 1, mluvíme o tzv. snižujícím převodu. Pokud je p vyšší než 1, mluvíme o tzv. zvyšujícím převodu.

Nejčastější pracovní stav, ve kterém se může transformátor nacházet, je *chod naprázdno* [8]. V tomto stavu není na sekundární vinutí připojena zátěž a transformátor odebírá ze sítě pouze energii na kompenzaci vlastních ztrát [8].

Druhým nejčastějším stavem, ve kterém se transformátor může nacházet, je *chod při zatížení*. V tomto stavu je připojena zátěž a proud prochází i výstupním napětím.

Nejméně častým stavem, v němž se může transformátor nacházet, je *chod nakrátko*. V tomto stavu jsou výstupní svorky zkratovány, například z důvodu poruchy.

Podle přenášené frekvence můžeme transformátory rozdělit na:

Nízkofrekvenční: Nejčastěji se používají pro impedanční přizpůsobení zdroje a spotřebiče a přenášejí celé pásmo kmitočtů. Jejich jádra jsou složena z transformátorových plechů.

Vysokofrekvenční: Nejčastěji se používají pro přizpůsobení vysokofrekvenčních obvodů a vzhledem k vysokým kmitočtům jsou jejich jádra feritová nebo železná.

Síťové: Nejčastěji se používají v napájecích zdrojích, pro změnu napětí sítě na potřebná vyšší nebo nižší napětí. Často mívají jedno vinutí primární a několik vinutí sekundárních. Jejich jádra se skládají z transformátorových plechů.

Ztráty v transformátorech:

Jouleovy – jedná se o tepelné ztráty vznikající průchodem proudu vinutím o daném vnitřním odporu:

$$Q = I^2 \cdot R \quad (16)$$

Vířivými proudy – Mluvíme o tzv. Foucaultových proudech. Pro jejich minimalizaci se používají plechy malé tloušťky (0,5 mm nebo 0,35 mm) navzájem od sebe odizolované.

Rozptylové toky – Jsou podobné vířivým proudům. Siločáry vystupují mimo jádro.

Magnetizační ztráty – Ztráty způsobené magnetizací materiálu v důsledku mag. toku

Elektromagnetické vyzařování – Projevují se u vysokofrekvenčních transformátorů.

Hlavním úkolem transformátoru je galvanické oddělení síťového napětí od obvodu dobíječe a transformovat toto napětí na požadovanou hodnotu.

Pro účely této diplomové práce je nejvhodnější síťový transformátor. Z požadavků na dobíjecí zdroj (viz kapitola 3.1.1), kterými jsou výstupní proud až 6 A a výstupní napětí až 15 V, jsou nároky na výkon transformátoru 90 W. Z důvodu určitého předdimenzování byl zvolen transformátor o výstupním napětí 20 V, schopný dodat výstupní proud až 8,3 A.

Hodnoty požadovaného transformátoru lze vypočítat podle následujících vzorců. Z hodnot, které již známe, jako jsou

vstupní napětí $U_1 = 230 \text{ V}$,

výstupní napětí $U_2 = 20 \text{ V}$ a

výstupní proud $I_2 = 8,3 \text{ A}$, spočítáme nejdříve výkon $P_2 = U_2 \cdot I_2 \text{ [W]}$ (17)

$$P_2 = 20 \cdot 8,3 = 166 \text{ W}$$

příkon $P_1 = \frac{P_2}{\eta} \text{ [W]}$, kde η je účinnost, (pro výkony do 200W se udává 0,88) (18)

$$P_1 = \frac{166}{0,88} = 188,5 \text{ W}$$

Průřez jádra $S_{Fe} = \sqrt{P_1} \text{ [cm}^2\text{]}$ (19)

$$S_{Fe} = \sqrt{188,5} = 13,7 \text{ cm}^2$$

počet závitů na 1V $N_{1V} = \frac{45}{S_{Fe}}$ (20)

$$N_{1V} = \frac{45}{13,7} = 3,3$$

Počet závitů primárního vinutí $N_1 = N_{1V} \cdot U_1 \cdot 0,95$ závitů (21)

$$N_1 = 3,3 \cdot 20 \cdot 0,95 = 63 \text{ závitů}$$

Počet závitů sekundárního vinutí $N_2 = N_{1V} \cdot U_2 \cdot 1,05$ závitů (21)

$$N_2 = 3,3 \cdot 230 \cdot 1,05 = 797 \text{ závitů}$$

Vstupní proud $I_1 = \frac{P_1}{U_1} \text{ [A]}$ (22)

$$I_1 = \frac{188,5}{230} = 0,82 \text{ A}$$

Průměr vodiče primárního vinutí $d_1 = \sqrt{\frac{I_1}{2}}$ [mm] (23)

$$d_1 = \sqrt{\frac{0,82}{2}} = 0,63 \text{ mm}$$

Průměr vodiče sekundárního vinutí $d_2 = \sqrt{\frac{I_2}{2}}$ [mm] (24)

$$d_2 = \sqrt{\frac{8,3}{2}} = 2 \text{ mm}$$

3.2.2 Návrh regulačního obvodu

Hlavním úkolem regulačního obvodu je zprostředkovat pro řízení hodnoty napětí a proudu, zpětně reagovat na povely řízení a podle nich regulovat hodnoty nabíjecího napětí a proudu.

Obvod tvoří:

Usměrňovač, který usměrňuje střídavé napětí z transformátoru,

Stabilizátory napětí pro napájení LCD displeje, řídicího obvodu a operačních zesilovačů,

Operační zesilovače, které reagují na výstupy z řídicího obvodu,

Výkonová část, která zajišťuje samotnou regulaci nabíjecího napětí,

Proudová regulace, která zajišťuje regulaci nabíjecího proudu.

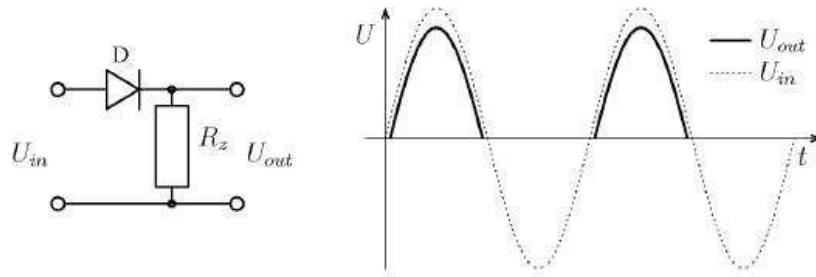
Schéma zapojení je znázorněno na Obr. č. 23. Na Obr. č. 24 je zobrazena deska plošného spoje regulačního obvodu a na Obr. č. 25 je zobrazeno osazovací schéma.

Zapojení výkonové části a proudové regulace jsou umístěny na samostatných deskách plošného spoje.

3.2.2.1 Usměrňovač

Usměrňovač je elektrické zařízení, které transformuje střídavý signál na stejnosměrný. Bývá součástí většiny spotřební elektroniky napájené ze sítě.

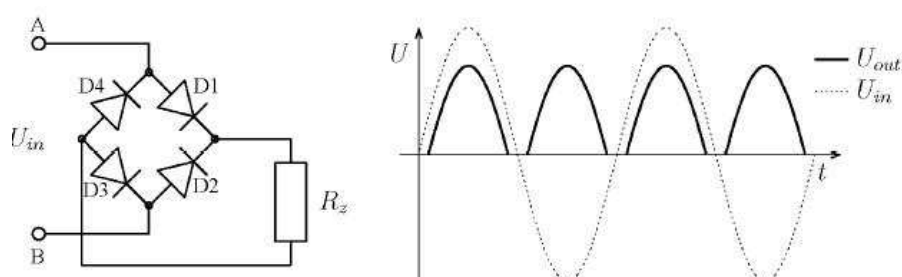
Na Obr. č. 14 je znázorněn jednocestný usměrňovač, který je zapojen tak, že propouští pouze kladnou půlvlnu střídavého signálu. Pro zápornou půlvlnu je dioda pólována závěrně a signál nepropustí.



Obr. č. 14 Jednocestný usměrňovač – převzato a upraveno z [10]

Zapojení jednocestného usměrňovače je velice jednoduché, jeho nevýhodou je však velice zvlněný usměrněný signál.

Obr. č. 15 znázorňuje dvoucestný usměrňovač v můstkovém zapojení (neboli Grätzovo zapojení). Při tomto zapojení propouští usměrňovač obě půlvlny střídavého signálu. Při kladné půlvlně na svorce A projde signál přes diodu D_1 , rezistor R_x a diodu D_3 . Při kladné půlvlně na svorce B projde signál přes diodu D_2 , rezistor R_x a diodu D_4 .



Obr. č. 15 Dvoucestný usměrňovač – převzato a upraveno z [10]

Výhodou dvoucestného usměrňovače je menší zvlnění usměrněného napětí a menší namáhání diod [10]. Nevýhodou je dvojnásobný úbytek napětí na diodách.

Pro účely této diplomové práce byl zvolen diodový můstek BR3510W s parametry 1000V 35A, drátové vývody, plastové provedení.

3.2.2.2 Stabilizátor napětí

Stabilizátor napětí je elektrické zařízení, jehož úkolem je udržovat konstantní hodnotu výstupního napětí vůči změnám vstupního napětí, zátěže, či teploty [10]. Stabilizátory můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní stabilizátor používá nelineární prvek (zenerovu diodu). Aktivní stabilizátory ke své činnosti používají zpětnou vazbu. Mezi aktivní stabilizátory patří i monolitické třísvorkové stabilizátory kladného a záporného napětí (viz Obr. č. 16). Stabilizátory kladného napětí mají označení 78xx, kde xx je hodnota výstupního napětí. Stabilizátory záporného napětí mají označení 79xx.



Obr. č. 16 Třísvorkový stabilizátor napětí řady 78xx – zpracováno v [3]

Pro účely této diplomové práce byly použity 3 stabilizátory řady 78xx.
7824 pro napájení operačních zesilovačů regulačního obvodu,
7809 pro napájení obvodu řízení,
7805 pro napájení LCD displeje.

3.2.2.3 Operační zesilovače

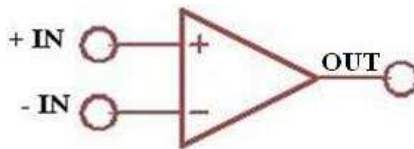
Název operační zesilovač vypovídá o původním určení tohoto elektronického obvodu [11]. Původně byl skutečně součástí analogových počítačů a jeho funkcí byla realizace matematických operací, jako je například sčítání, odčítání, násobení a dělení. Původně byl operační zesilovač realizován pomocí elektronek, později bipolárních tranzistorů.

Dnes jsou operační zesilovače realizovány jako integrované obvody a tranzistory bipolární nahradily tranzistory unipolární. Tyto tranzistory mají vyšší vstupní impedanci (až $10^{15}\Omega$ s tranzistory MOS FET) [11], což znamená menší zatížení vstupního obvodu.

Na Obr. č. 17 je uvedena schématická značka operačního zesilovače. Jedná se o ideální operační zesilovač, který má 2 vstupy, invertující (- IN) a neinvertující (+ IN), a jeden výstup (OUT).

Ideální operační zesilovač má tyto vlastnosti [11]:

- Nekonečně velký vstupní odpor R_i
- Nekonečně velké zesílení s otevřenou smyčkou zpětné vazby A_0
- Nulový výstupní odpor R_o
- Nekonečně velkou šíři přenášeného pásma



Obr. č. 17 Schématická značka operačního zesilovače – zpracováno v [3]

Při výběru reálného operačního zesilovače nás zajímají parametry udávané výrobcem, jako jsou napájecí napětí, vstupní proud, výstupní proud, vstupní napětí, výstupní napětí, teplotní drift a další.

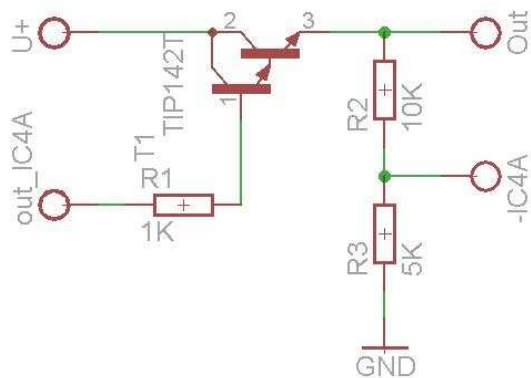
Pro účely této diplomové práce byl zvolen operační zesilovač LM2904N, což je dvojitý operační zesilovač v pouzdře DIP8.

3.2.2.4 Výkonová část regulátoru

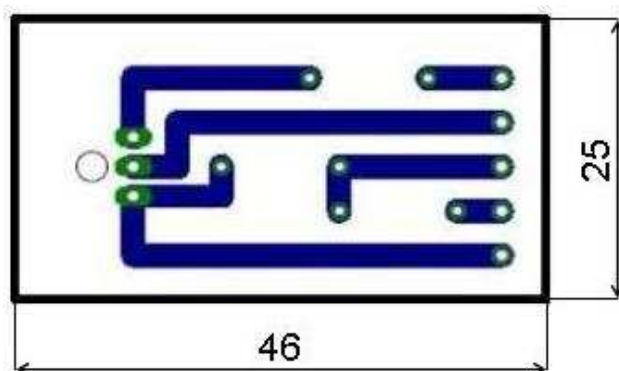
Hlavním úkolem výkonové části je regulace výstupního napětí. Výkonová část se skládá z výkonového bipolárního tranzistoru, který reaguje na výstup z operačního zesilovače. Pro účely této diplomové práce byl zvolen tranzistor TIP142T, což je Darlingtonův tranzistor NPN - $I_c = 15 \text{ A}$, $P_d = 90 \text{ W}$, pouzdro TO220.

Schéma zapojení je znázorněno na Obr. č. 18. Na Obr. č. 19 je zobrazena deska plošného spoje výkonové části regulátoru a na Obr. č. 20 je zobrazeno osazovací schéma.

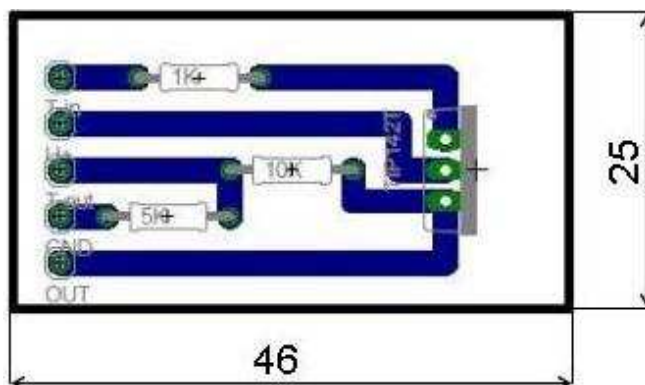
Výkonová část regulátoru je umístěn na samostatné desce plošného spoje.



Obr. č. 18 Schéma zapojení akčního členu regulátoru – zpracováno v [3]



Obr.č. 19 Deska plošného spoje akčního členu regulátoru – zpracováno v [3]



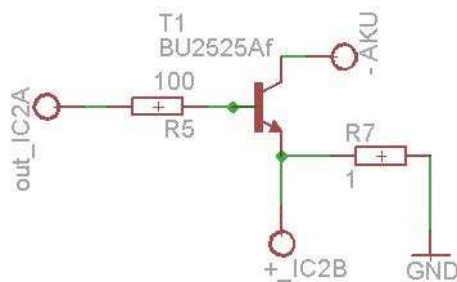
Obr. č. 20 Osazovací schéma akčního členu regulátoru – zpracováno v [3]

3.2.2.5 Proudová regulace

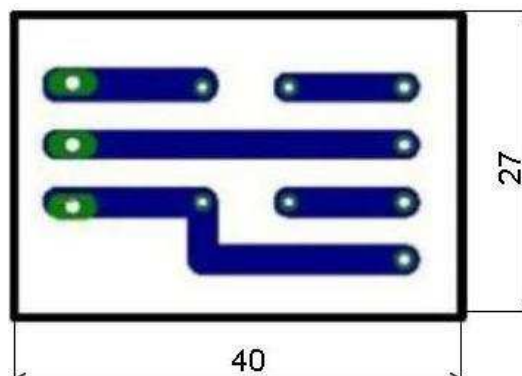
Úkolem tohoto obvodu je regulovat výstupní proud nabíječe. Obvod obsahuje výkonový tranzistor BU2525AF, což je Bipolární NPN tranzistor - $I_c = 12\text{ A}$, $P_d = 45\text{ W}$, pouzdro SOT199.

Schéma zapojení je znázorněno na Obr. č. 21. Na Obr. č. 22 je zobrazena deska plošného spoje proudové regulace a na Obr. č. 23 je zobrazeno osazovací schéma.

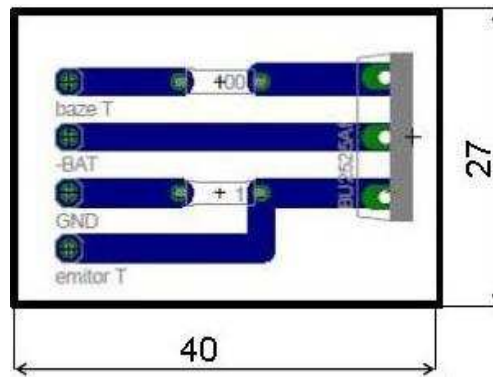
Obvod proudové regulace je umístěn na samostatné desce plošného spoje.



Obr. č. 21 Schéma zapojení proudové regulace – zpracováno v [3]

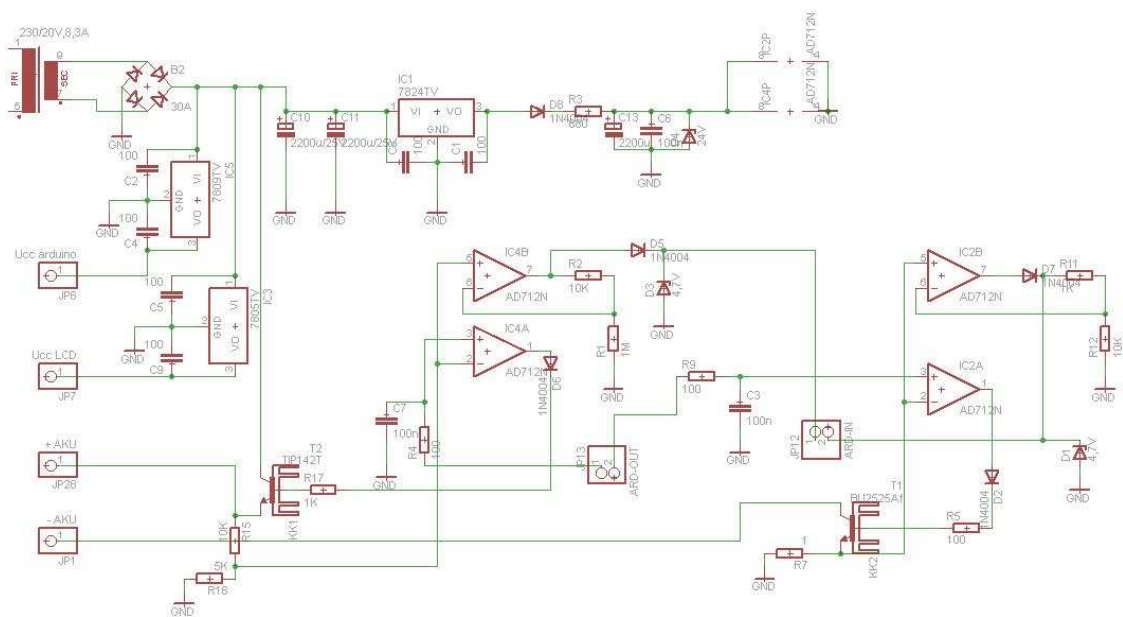


Obr. č. 22 Deska plošného spoje regulátoru proudu – zpracováno v [3]

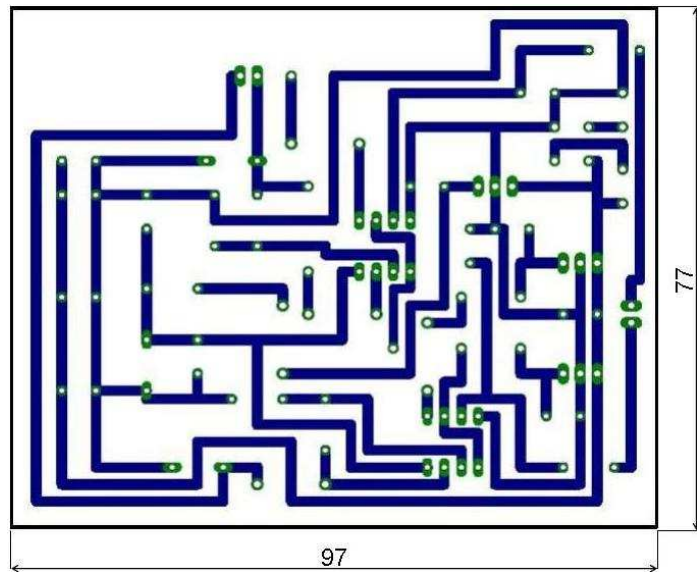


Obr. č. 23 Osazovací schéma proudového regulátoru – zpracováno v [3]

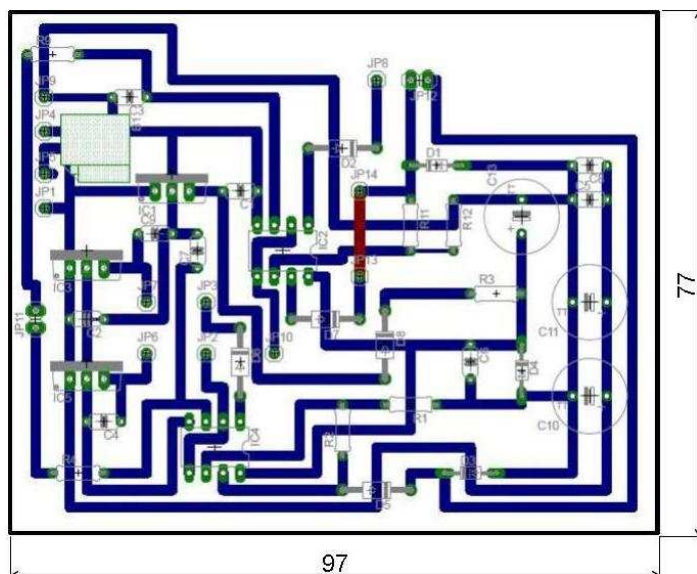
Na Obr. č. 24 je znázorněno schéma regulačního obvodu, na Obr. č. 25 pak deska plošných spojů a Obr. č. 26 znázorňuje osazovací schéma regulačního obvodu.



Obr. č. 24 Schéma regulačního obvodu – zpracováno v [3]



Obr. č. 25 Deska plošných spojů regulačního obvodu – zpracováno v [3]



Obr. č. 25 Osazovací schéma regulačního obvodu – zpracováno v [3]

3.2.3 Návrh obvodu řízení

Hlavním úkolem obvodu řízení je zpracovat vstupní signály a podle zvoleného typu akumulátoru řídit průběh nabíjení prostřednictvím regulačního obvodu.

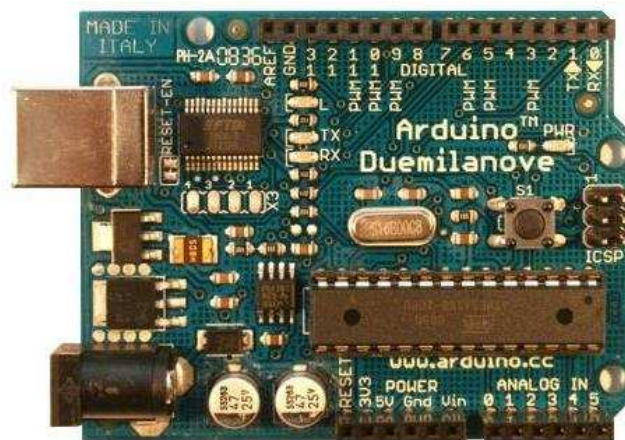
Pro funkci řízení je možné použít elektronické součástky a sestavit obvod pro konkrétní aplikaci. Mnohem výhodnější je ale použít mikroprocesor, který nám umožňuje snadnější změnu parametrů.

Pro účely této diplomové práce byl zvolen vývojový kit Arduino Duemilanove.

Arduino Duemilanove

Arduino Duemilanove [12] je tzv. open source vývojová platforma založená na flexibilním a jednoduchém hardwaru i softwaru a vyvinutá firmou SmartProjects. Design této platformy je znázorněn na Obr. č. 26. Arduino je určeno jak pro začátečníky, kterým nabízí možnost naučit se pracovat s mikroprocesory, tak i pokročilým, kteří s ní dokážou realizovat své projekty.

Typ Duemilanove se dodává s mikroprocesorem Atmel ATMega168, nebo nově s mikroprocesorem ATMega328.



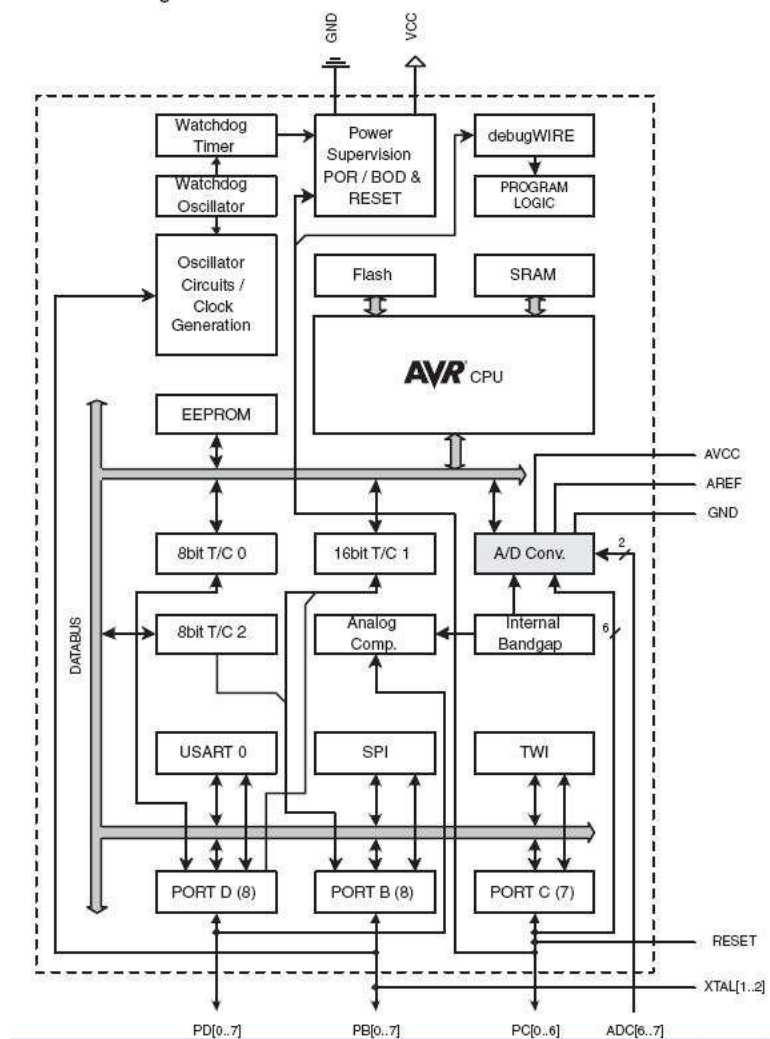
Obr. č. 26 Arduino duemilanove – převzato z [12]

ATMega168 [13] je 8-bitový mikroprocesor řady AVR, který obsahuje celkem 14 digitálních (z toho 6 s podporou PWM) pinů a 6 vstupních analogových pinů (viz. Obr. č. 28).

K dispozici je 16 kB vnitřní paměti Flash (z toho jsou 2 kB použity pro bootloader), 1 kB vnitřní paměti SRAM a 512 Bytů vnitřní paměti EEPROM [12].

Arduino Duemilanove lze napájet přes externí napájecí zdroj. Zdroj napětí je vybrán automaticky. Externí (ne z USB) napájení může pocházet z AC-to-DC adaptéru, nebo z baterií.

Adapter lze připojit přes 2.1mm souosý konektor. Deska může pracovat s externím napětím 6 – 20 V. Pokud je napájecí napětí méně než 5 V, může být deska nestabilní [12]. Pokud je použito napájecí napětí vyšší než 12 V, může dojít k přehřátí regulátoru napětí a poškození desky.



Obr. č. 27 Blokové schéma ATmega168 – převzato z [13]

Každý ze 14 digitálních pinů na platformě Arduino Duemilanove lze použít jako vstupní nebo výstupní pomocí funkcí `pinMode()`, `digitalRead()` a `digitalWrite()`. Tyto piny pracují s hodnotou napětí 5 V. Každý pin může poskytovat nebo přijímat maximálně 40 mA a obsahuje interní pull-up rezistor (ve výchozím nastavení je

odpojen) o hodnotě 20-50 kΩ [12]. Kromě těchto základních vlastností mají některé piny navíc specializované funkce:

Seriál: 0 (RX) and 1 (TX). Používá se pro příjem (RX) a odeslání (TX) TTL sériového data. Tyto piny jsou připojeny k odpovídajícím pinům FTDI USB-to-TTL sériového čipu.

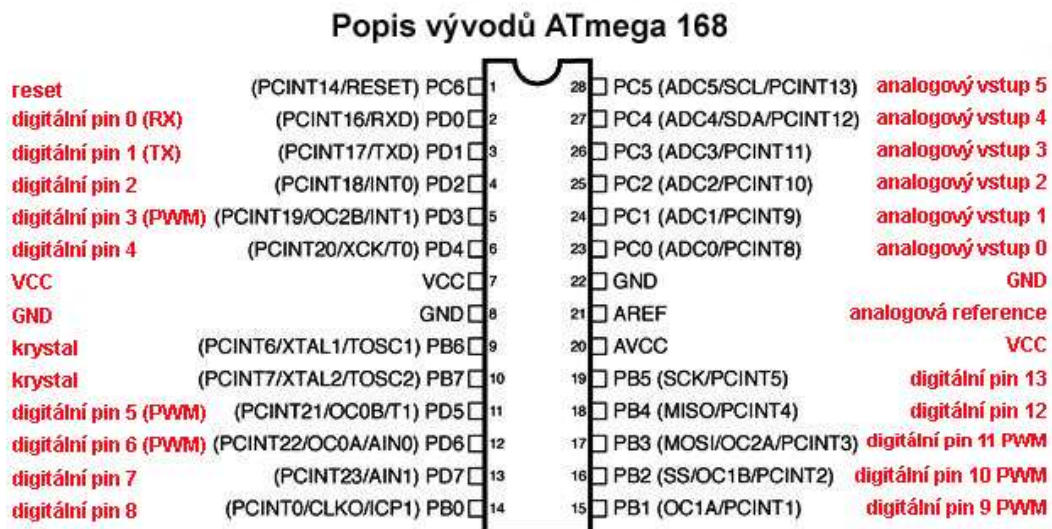
Vnější přerušování 2 a 3. Tyto piny lze nastavit ke spuštění přerušování při nízké hodnotě, náběžné nebo sestupné hraně, nebo ke změně hodnoty.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10 a 11. Poskytují 8-bit PWM výstup pomocí funkce `analogWrite`.

LED: 13. Zde je vestavěná LED dioda, připojená na digitální pin 13 [12]. Když je pin v úrovni HIGH, LED dioda svítí, když je pin v úrovni LOW, LED dioda nesvítí.

Duemilanove má 6 analogových vstupů, z nichž každý poskytuje 10 bitové rozlišení (tj. 1024 rozdílných hodnot). Ve výchozím nastavení měří od nuly do 5 V, ale je možné změnit horní mez jejich rozsahu použitím funkce `analogReference()` pinu AREF. Navíc některé piny mají specializované funkce:

I2C: 4 (SDA) a 5 (SCL). Podpora I2C (TWI) komunikace pomocí knihovny `Wire`. [12]

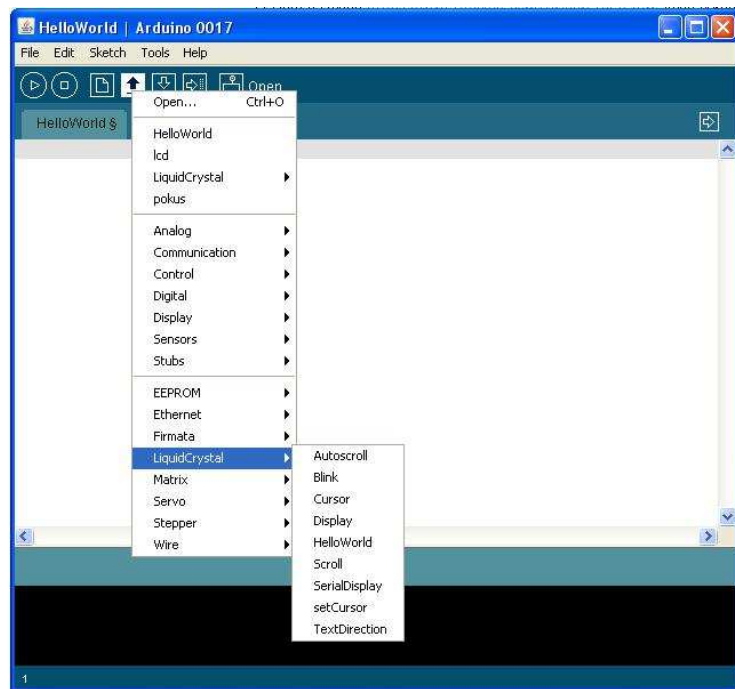


Obr. č. 28 Pin konfigurace ATMega168 v pouzdru DIP – převzato a upraveno z [13]

Programování arduina duemilanove se provádí pomocí jednoduchého programovacího jazyka Wiring, který je založen na jazyku C/ C++ [12]. Celé vývojové prostředí poskytuje výrobce na svých stránkách a je zcela zdarma.

Vývojové prostředí je založené na open source projektu *Processing*, což je programovací jazyk a prostředí pro zobrazování, animaci a interakce [14]. *Processing* je volně ke stažení a je k dispozici pro GNU / Linux, Mac OS X a Windows. Design vývojového prostředí je znázorněn na Obr. č. 29.

Mimo vytvoření vlastního projektu je možné využít knihovnu příkladů.



Obr. č. 29 Vývojové prostředí IDE

Před vlastním používáním vývojového prostředí je třeba nainstalovat ovladače čipu FTDI FT232R pro příslušný operační systém z webu výrobce.

Na tomto webu se nachází VCP ovladače, které jsou v současné době k dispozici pro zařízení FTDI [12].

Po nainstalování ovladačů a vývojového prostředí je třeba připojit arduino k počítači a v menu nastavit typ používané desky a sériový port, na kterém je arduino nainstalované.

Bezchybnost napsaného kódu je možné ověřit pomocí příkazu *verify* a poté pomocí příkazu *upload* nahrát program do procesoru.

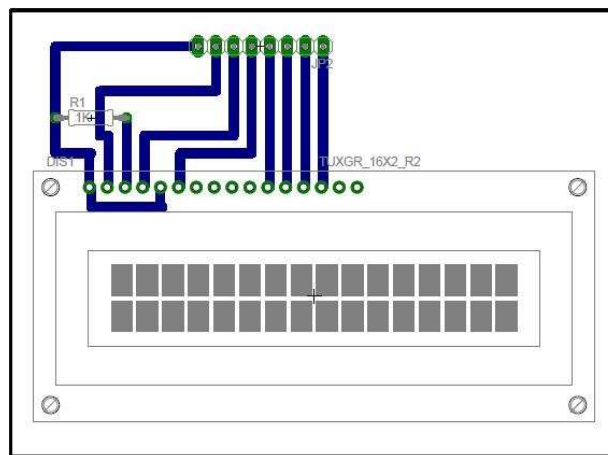
Pro účely této diplomové práce byl vývojový kit Arduino duemilanove použit jako řídicí obvod při automatizaci procesu nabíjení.

3.2.4 Zobrazovací obvod

Úkolem zobrazovacího obvodu je zprostředkovat informace o měřených veličinách. V minulosti se používaly například kaskády LED diod, které nám byly schopné indikovat například stav nabití akumulátoru rozsvícením příslušného počtu LED diod z celkového množství LED diod.

Pokud chceme informace o konkrétní hodnotě sledované veličiny, pak je mnohem efektivnější použít některou formu displeje.

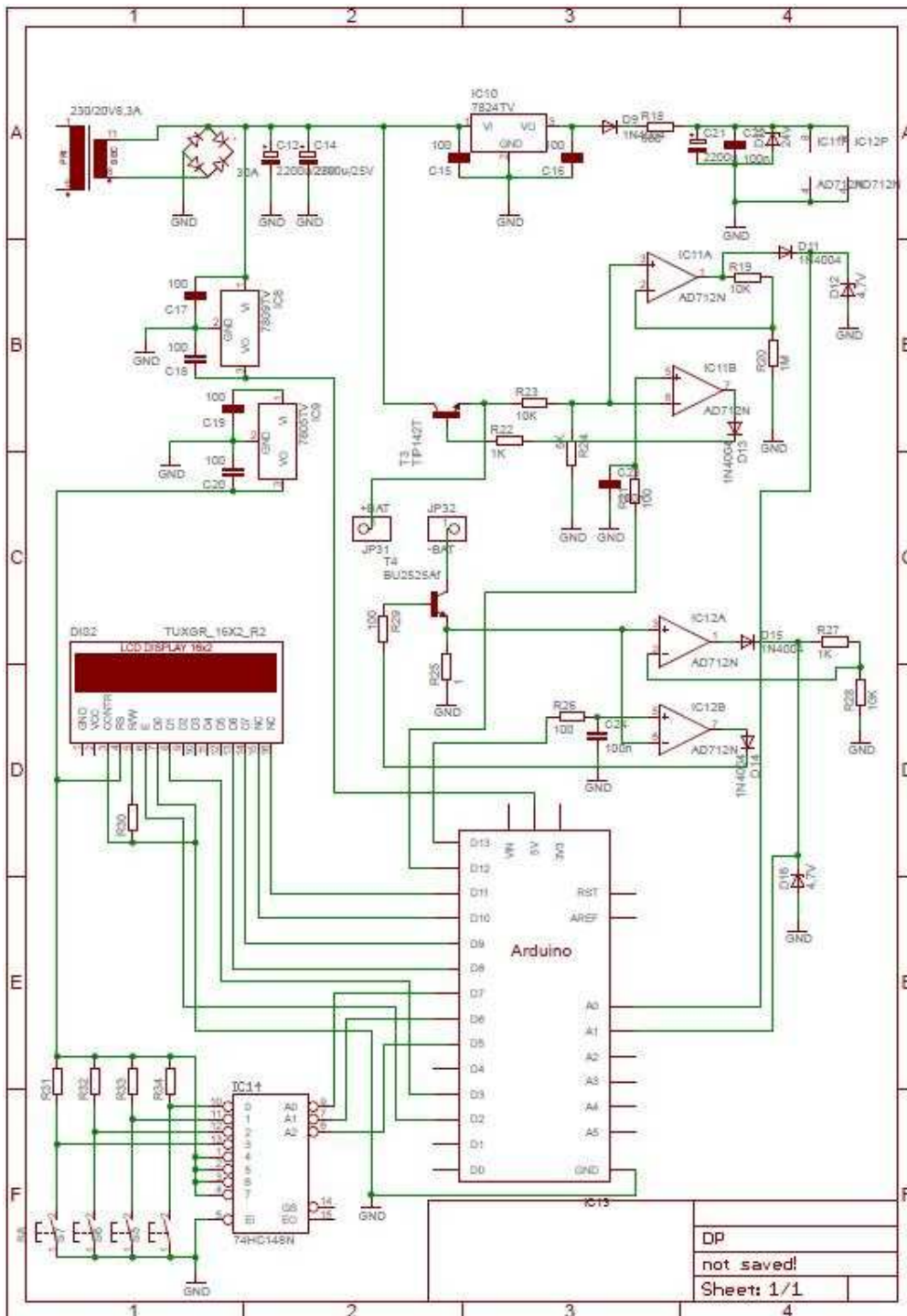
Pro účely této práce byl zvolen LCD display DEM16217LYH-PY, což je alfanumerický display 16 x 2 s řadičem HD44780. Display byl umístěn na samostatnou desku plošného spoje (viz Obr. č. 30).



Obr. č. 30 Osazovací schéma zobrazovacího obvodu – zpracováno v [3]

3.2.5 Celkové uspořádání elektronického systému

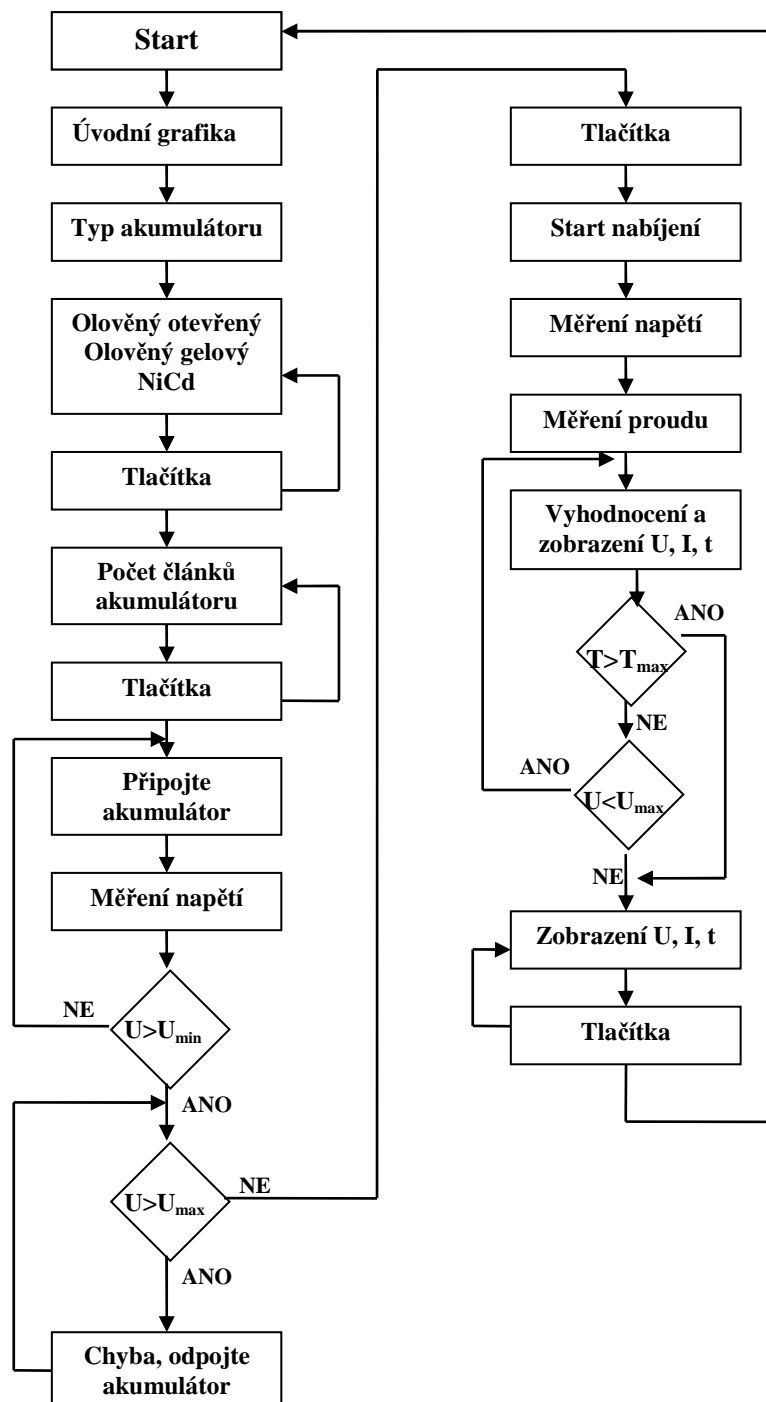
Na Obr. č. 31 je znázorněno celkové uspořádání jednotlivých výše popsaných elektronických modulů včetně začlenění mikroprocesorového řídicího bloku Arduino Duemilanove a jejich vzájemné obvodové propojení.



Obr. č. 31 Celkové schéma zapojení dobíjecího systému

3.3 Návrh softwaru

Nedílnou součástí projektu je též vývoj programového vybavení, které umožní řídicímu obvodu vykonávat veškeré jeho funkce. Na Obr. č. 31 je znázorněn vývojový diagram, na jehož základě byl napsán vlastní program, se kterým poté pracuje mikroprocesor systému Arduino Duemilanove.



Obr. č. 32 Vývojový diagram programu pro obvod řízení

Nejprve bylo nutno rámcově vyjádřit ve vývojovém diagramu veškeré funkce, které bude systém plnit. Jak je z vývojového diagramu zřejmé, po startu programu je nutné v menu nastavit počáteční parametry, jako jsou typ akumulátoru a počet článků v akumulátoru. Poté následuje měření napětí a vyhodnocení, zda je akumulátor připojen a jestli jeho svorkové napětí nepřekračuje maximální napětí zvoleného typu akumulátoru. Pokud je připojen správný typ akumulátoru a jeho svorkové napětí je nižší než U_{\max} , následuje druhá část programu, ve které probíhá měření nabíjecího napětí a nabíjecího proudu a tyto hodnoty jsou současně zobrazovány na displeji. Při dosažení požadovaného napětí akumulátoru, maximální dovolené teploty akumulátoru, nebo dodané energie je nabíjení ukončeno, zobrazí se výsledné hodnoty a program čeká na volbu další akce.

Pro vlastní psaní programu bylo využito dostupného vývojového prostředí [12]. Vývojový kit Arduino Duemilanove pracuje s jazykem Wiring (viz kapitola 3.2.3). Výpis stěžejní části programu, která provádí vlastní regulaci dobíjení a měření napětí a proudu na akumulátoru, je uložen na elektronickém nosiči CD určeném k archivaci fakultou.

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vyvinout a realizovat elektronický regulační systém pro nabíjení záložních zdrojů nouzového osvětlení.

U daného zařízení byl kladen důraz na obvodově jednoduché a ekonomicky dostupné technické řešení. Po analýze problému se stala optimálním řešením kombinace analogových obvodů, které jsou provázány s mikroprocesorovým systémem Arduino Duemilanove. Pro řešení problému bylo nezbytné nejprve nastudovat problematiku nouzových osvětlovacích systémů, respektive normy s problematikou související, dále problematiku správného nabíjení a vybíjení akumulátorů vhodných pro nouzové osvětlovací systémy.

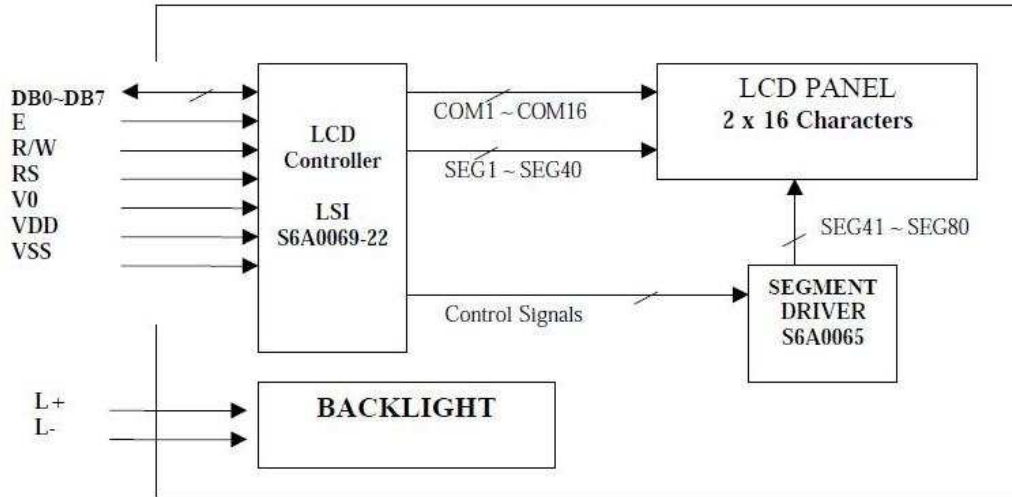
V druhé části práce je zpracována kompletní technická dokumentace vyvinutého zařízení pro dobíjení zdrojů nouzového osvětlení. Pro získání stejnosměrného napětí byl zvolen síťový transformátor, který galvanicky odděluje napájecí síť. Dále se obvod skládá z měřicí části, regulační části a výkonové části. O zobrazení informací o nabíjecím procesu se stará LCD displej. Zařízení je schopné dosáhnout dobíjecího proudu až 8 A, což odpovídá kapacitě akumulátoru v rozsahu do 80 Ah při nabíjení desetinovým proudem (viz kapitola 2.2.2). Tato kapacita dostačuje pro napájení nouzového osvětlovacího systému budovy s padesáti svítilny o výkonu 15 W (12 V).

Vyvinuté zařízení nebylo možno plně ověřit v praxi, neboť nebylo instalováno v reálném systému nouzového osvětlení. Proto byly funkčně testovány pouze jeho jednotlivé, výše popsané komponenty.

Použitá literatura:

- [1] Norma ČSN EN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty 1
- [2] Norma ČSN EN 1838 Světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení
- [3] Editor plošných spojů Eagle <http://www.cadsoft.de/download.htm>, 21.2.2011
- [4] Norma ČSN EN 60598-2-22 Zvláštní požadavky - Svítidla pro nouzové osvětlení
- [5] CENEK, M., JINDRA, J., JON, M., KEZELLE, J., KOZUMPLIK, J., VRBA, J. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0
- [6] MAREK, J., STEHLÍK, L. Hermetické akumulátory v praxi. Praha: IN-EL, 2004. ISBN 80-86230-34-4
- [7] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. Nabíječky a nabíjení. Praha: BEN-technická literatura, 2002, 3. upravené vydání. ISBN 80-86056-61-9
- [8] SEDLÁK, B., ŠTOLL, L. Elektřina a magnetismus. Praha: Academia, 2002, 2. přepracované a doplněné vydání
- [9] FAKTOR, Z. Transformátory a cívky – vlastnosti materiálů a efektivní návrh transformátorů. Praha: BEN-technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-49-x
- [10] STRÝHAL, Z., SEDLÁK, D. Elektronika. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně Ústí n. L., 2003
- [11] ADÁMEK, P. Obvody a části měřících přístrojů. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2010. ISBN 978-80-7394-200-7
- [12] web výrobce, <http://arduino.cc/en/Guide/Windows>, 25.12.2009
- [13] doc2545.pdf, http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2545, 25.12.2009
- [14] <http://www.processing.org/learning/gettingstarted/>, 26.12.2009

4. BLOCK DIAGRAM



5. PIN ASSIGNMENT

Pin No.	Symbol	Function
1	VSS	Ground terminal of module.
2	VDD	Supply terminal of module 5.0V
3	V0	Power Supply for liquid crystal drive
4	RS	Register select RS=0: Instruction register; Rs=1: Data register
5	R/W	Read or Write Select Signal
6	E	Read/Write R/W=1: Read; R/W=0: Write
7	DB0	Bi-directional data bus, data transfer is performed once, thru DB0 to DB7, in the case of interface data length is 8-bits; and twice, through DB4 to DB7 in the case of interface data length is 4-bits. Upper four bits first then lower four bits.
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
L-	LED-(K)	Please also refer to 6.1 PCB drawing and description.
L+	LED+(A)	