

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Bakalářská práce

**Nabíjení a provoz trakčních a ostatních olověných
akumulátorů**

Filip Černota

© 2018 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Černota

Inženýrství údržby

Název práce

Nabíjení a provoz trakčních a ostatních olověných akumulátorů

Název anglicky

Charging and operation of traction and the other lead-acid batteries

Cíle práce

Vypracovat přehled současných trakčních a ostatních olověných akumulátorů. Vypracovat přehledy vlastností a technických parametrů těchto akumulátorů. Vypracovat přehled možných a doporučených aplikací těchto akumulátorů.

Popsat procesy probíhající v akumulátorech při vybíjení a nabíjení. Vypracovat přehled možností a zásad pro provoz, nabíjení, dobíjení a udržování těchto akumulátorů.

Metodika

Vypracujte literární rešerši na zadané téma. V rešerši formou výkladu popište v současnosti používané zadané typy akumulátorů, jejich vlastnosti, oblasti použití, zásady správného provozu, možnosti nabíjení, dobíjení a udržování. Vypracujte přehled nabíjecích charakteristik a nabíječek.

Osnova práce:

- 1) Úvod
- 2) Cíle práce
- 3) Stručná historie vzniku, vývoje a používání zadaných typů akumulátorů
- 4) Současné a očekávané budoucí používání zadaných typů akumulátorů
- 5) Vlastnosti, provoz a udržování zadaných typů akumulátorů
- 6) Možnosti a způsoby nabíjení, charakteristiky akumulátorů a nabíječů
- 7) Doporučení pro provoz, nabíjení a údržbu vybraných typů akumulátorů
- 8) Závěr
- 9) Literatura

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

akumulátor, akumulátorová baterie, nabíjení akumulátorů, nabíjecí charakteristika

Doporučené zdroje informací

Arendáš, M, – Ručka, M.: Nabíječky a nabíjení. BEN, Praha, 3. upravené vydání, 2002, 112 s., ISBN 80-86056-61-9

Battex: Abeceda baterií a akumulátorů, Slovníček a pojmy. Dostupné na <http://www.battex.info/slovnicek-a-pojmy>

Cenek, M. a kol.: Akumulátory od principu k praxi, FCC PUBLIC, s. r. o., Praha, 2003, ISBN 80-86534-03-0

Libra, M. – Poulek, V.: Zdroje a využití energie. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007, ISBN 978-80-213-1647-8

Mareš, J. – Libra, M. – Poulek, V.: Akumulace elektrické energie. In: Elektro – časopis pro elektrotechniku, č. 2/2011, FCC PUBLIC, s. 6 – 10, ISSN 1210-0889

Weigel, D.: Nabíjení a nabíječe – jak dostat z akumulátoru maximum. In: AutoExpert, Autopress Praha, 2007, ISSN 1211-2380

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Konzultant

Ing. Bohulav Peterka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 2. 1. 2017

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Nabíjení a provoz trakčních a ostatních olověných akumulátorů" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.3.2018

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Josefu Poštovi, CSc. za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Nabíjení a provoz trakčních a ostatních olověných akumulátorů

Abstrakt

Olověné akumulátory jsou nejběžněji používané elektrochemické zdroje proudu a jsou zároveň nejstarším typem sekundárních článků. Tato práce poskytuje úvod do problematiky olověných akumulátorů. Cílem práce je stručně nastínit historii vzniku a vývoje olověných akumulátorů a dále se podrobněji zabývá základní konstrukcí olověného akumulátoru, rozdělením olověných akumulátorů dle několika základních hledisek, fyzikálními a chemickými reakcemi probíhajícími v průběhu nabíjení a vybíjení. Zabývá se budoucností olověného akumulátoru, jeho vývojem a možnostmi budoucího použití. V závěrečné části jsou dále poskytnuta doporučení pro provoz, nabíjení a údržbu akumulátorů, tak aby byla zajištěna co největší životnost daných akumulátorů.

Klíčová slova: Olověný akumulátor, nabíjecí charakteristiky, vybíjení, samovybíjení, sulfatace, doporučení pro provoz

Charging and operation of traction and the other lead-acid batteries

Abstract

Lead accumulators are the most commonly used electrochemical current sources and at the same time they are the oldest type of secondary cells. This thesis provides an introduction into lead-acid batteries. The aim of the work is to briefly describe history and development of lead-acid accumulators, in the next part thesis describe in more detail way the basic construction elements, distribution of lead accumulators according to several aspects, physical and chemical reactions ongoing during charging and discharging. It deals with with the future of the lead-acid accumulators, its development and future uses. The final part also provides recommendations for the operation, charging and maintenance in order to ensure the maximum life of the accumulators.

Keywords: Lead accumulator, charging characteristics, discharge, selfdischarge, sulfation, recommendation for operation

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Cíle práce a metodika	14
3 Stručná historie vzniku, vývoje a používání zadaných typů akumulátorů	15
3.1 Historie vzniku olověného akumulátoru	15
3.2 Vývoj olověného akumulátoru	16
3.3 Historie používání olověných akumulátorů	18
4 Současné a očekávané budoucí používání zadaných typů akumulátorů	19
4.1 Současné použití olověných akumulátorů.....	19
4.2 Budoucí použití olověných akumulátorů	20
5 Základní konstrukce a rozdělení olověného akumulátoru.....	21
5.1.1 Nádoba akumulátoru.....	21
5.1.2 Víko akumulátoru	22
5.1.3 Separátory	22
5.1.4 Elektrody.....	23
5.1.4.1 Kladné elektrody	23
5.1.4.1.1 Velkopovrchové (Plantého) elektrody	23
5.1.4.1.2 Mřížkové elektrody	24
5.1.4.1.3 Trubkové elektrody	24
5.1.4.1.4 Tyčové elektrody.....	24
5.1.4.2 Záporné elektrody.....	25
5.1.4.3 Jiné konstrukce elektrod	25
5.1.4.3.1 Spirálové elektrody	25
5.1.4.3.2 Diskové elektrody	25
5.1.5 Spojovací články a můstky	25
5.1.6 Zátky článků	25
5.1.7 Elektrolyt	26
5.1.8 Indikátor hustoty elektrolytu.....	26
5.1.9 Indikátor dolití elektrolytu	27
5.2 Základní typy vyráběných akumulátorů.....	27
5.2.1 Rozdělení podle způsobu uzavření akumulátorové nádoby	27
5.2.1.1 Akumulátor s otevřenými články	27
5.2.1.2 Akumulátor s uzavřenými články.....	27
5.2.1.3 Ventilem řízené akumulátory	28

5.2.1.4	Hermeticky uzavřené akumulátory.....	28
5.2.2	Rozdělení podle typu elektrolytu.....	28
5.2.2.1	Akumulátor se zaplavenými elektrodami.....	28
5.2.2.2	Akumulátory s vázaným elektrolytem (AGM).....	28
5.2.2.3	Gelový akumulátor	29
5.3	Rozdělení podle způsobu použití	29
5.3.1.1	Trakční akumulátory	29
5.3.1.2	Staniční akumulátory.....	30
5.3.1.3	Startovací akumulátory.....	30
6	Vlastnosti, provoz a udržování zadaných typů akumulátorů	31
6.1	Vlastnosti olověného akumulátoru.....	31
6.2	Provoz olověného akumulátoru.....	32
6.2.1	Bateriový provoz.....	32
6.2.2	Paralelní provoz	32
6.2.2.1	Paralelní provoz pohotovostní.....	33
6.2.2.2	Paralelní provoz vyrovnávací	33
6.2.3	Přepínací provoz	33
6.2.4	Měnitelný provoz.....	33
6.2.5	Procesy probíhající při provozu akumulátorů.....	34
6.2.5.1	Vybíjení	34
6.2.5.1.1	Vliv vybíjecího proudu na kapacitu	34
6.2.5.1.2	Vliv teploty na kapacitu	35
6.2.5.2	Samovybíjení.....	35
6.2.5.3	Sulfatace	36
6.3	Udržování olověného akumulátoru	37
7	Možnosti a způsoby nabíjení, charakteristiky akumulátorů a nabíječů.....	39
7.1	Nabíjení.....	39
7.2	Trvalé dobíjení	40
7.3	Základní nabíjecí charakteristiky akumulátorů a nabíječů.....	40
7.3.1	Nabíjecí charakteristika klesajícího proudu „W“	40
7.3.2	Nabíjecí charakteristika konstantního proudu „I“	42
7.3.3	Nabíjecí charakteristika konstantního napětí „U“	43
7.3.4	Pulzní nabíjení	44
7.4	Pokročilé nabíjecí charakteristiky	45
7.4.1	Nabíjecí charakteristika „WoW“	45

7.4.2	Nabíjecí charakteristika „IoI“	46
7.4.3	Nabíjecí charakteristika „IU“	46
7.4.4	Nabíjecí charakteristika „IUI“	47
7.4.5	Nabíjecí charakteristika „IUW ₁ W ₂ “	48
8	Ekonomické zhodnocení	48
9	Závěr.....	49
10	Seznam použitých zdrojů	50

Seznam obrázků

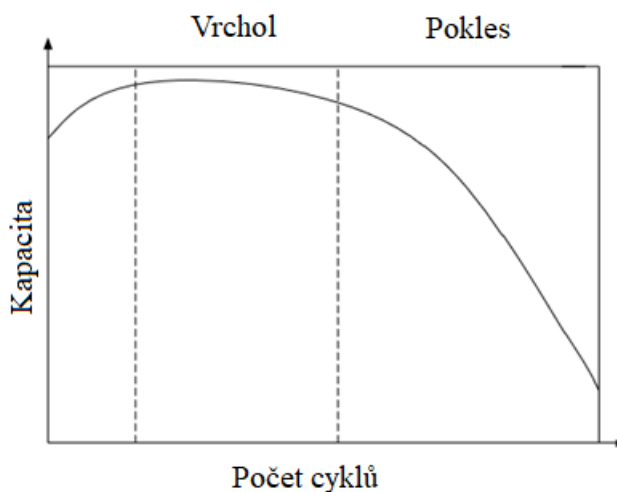
Obr. 1.1:	Graf závislosti kapacity na počtu cyklů [2].....	13
Obr. 3.1:	Gaston Planté [3].....	15
Obr. 3.2:	První dobíjitelná olověná baterie [4].....	16
Obr. 3.3:	Moderní olověná elektroda [2].....	17
Obr. 4.1:	Graf poměru využití olověných akumulátorů v roce 2010 [9].....	20
Obr. 5.1:	Konstrukce článku akumulátoru[11].....	23
Obr. 5.2:	Indikátor hustoty elektrolytu [11].....	27
Obr. 6.1:	Schéma základních druhů provozu akumulátorů, a) bateriový, b) paralelní, c) přepínací, d) měnitelný.....	32
Obr. 6.2:	Vybíjecí křivky při teplotě 20°C.....	35
Obr. 6.3:	Samovybití olověného akumulátoru při různých teplotách okolí [15].....	36
Obr. 6.4:	Snímky záporné aktivní hmoty. Sulfatace vlevo, zdravý stav vpravo [7].....	37
Obr. 7.1:	Charakteristika nabíječe s klesajícím proudem (vpravo), charakteristika akumulátoru (vlevo) [21].....	41
Obr. 7.2:	Charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe s konstantním proudem (vpravo).....	42
Obr. 7.3:	Charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe s konstantním napětím (vpravo).....	43
Obr. 7.4:	Průběh pulzního nabíjení.....	44
Obr. 7.5:	Průběh proudu při pulzním nabíjení se snižováním amplitudy (vlevo), se zkracováním nabíjecího intervalu (vpravo).....	45
Obr. 7.6:	Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe WoW (vpravo)	46
Obr. 7.7:	Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe IoI (vpravo)	46
Obr. 7.8:	Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe IU (vpravo)	47
Obr. 7.9:	Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika akumulátoru IUI (vpravo)	47

Obr. 7.10: Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe $I_{UW_1W_2}$
(vpravo.....48

1 Úvod

Olověné baterie jsou v dnešní době používány v mnoha odvětvích. Vyrábí se v mnoha provedeních od extrémně velkých baterie používaných v elektrických zařízeních až po malé baterie, které se používají v ručních nástrojích. Většina olověných baterií se však nachází v automobilech (SLI). Rozměrnější olověné akumulátory se používají pro pohon elektrických vozidel jako je vysokozdvizný vozík nebo golfový vozík.

Životnost akumulátoru je závislá na výrobci a modelu baterie. Základní kategorie životnosti uváděné pro VRLA akumulátory jsou 5, 10 a 12 let [1]. Obrázek 1.1 ukazuje ztrátu kapacity v závislosti na počtu cyklů. Jen málokterý akumulátor vydrží dobu uváděnou výrobcem, u většiny akumulátorů se začínají problémy s kapacitou objevovat již po 2 až 3 letech používání. Mnoho uživatelů olověných se proto domnívá, že kvalita akumulátorů není dostačující. Hlavní důvody takto nízké životnosti však vznikají nejčastěji na straně uživatele, nejčastěji zanedbáním údržby, použitím nesprávných nabíjecích charakteristik nebo provozem akumulátoru ve vybitém stavu.



Obr. 1.1: Graf závislosti kapacity na počtu cyklů [2]

2 Cíle práce a metodika

Cílem práce bylo vypracovat přehled současných trakčních a ostatních olověných akumulátorů, přehledy vlastností a technických parametrů těchto akumulátorů. Zpracovat přehled jejich možných a doporučených aplikací, popsat procesy probíhající v akumulátorech při vybíjení a nabíjení. Vypracovat přehled možností a zásad pro provoz, nabíjení, dobíjení a udržování zadaných akumulátorů.

Práce byla zpracována metodou literární rešerše. V rešerši jsou dále popsány zadané typy akumulátorů používané v současnosti, jejich vlastnosti, oblasti použití, zásady správného provozu, možnosti nabíjení, dobíjení a udržování. V závěru byl vypracován přehled nabíjecích charakteristik a nabíječek.

3 Stručná historie vzniku, vývoje a používání zadaných typů akumulátorů

3.1 Historie vzniku olověného akumulátoru



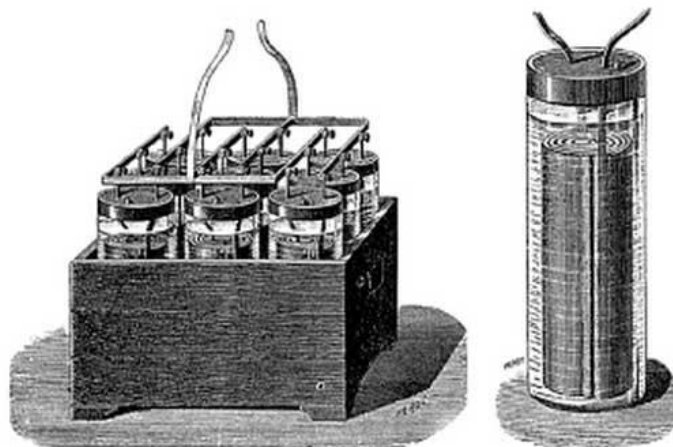
Obr. 3.1: Gaston Planté [3]

Objevitel olověného akumulátoru Raimond Louis Gaston Planté se narodil 22. dubna 1834 v Orthez ve Francii jako prostřední ze tří bratrů. Každý z bratrů se proslavil ve svém oboru, nejstarší Leopold v oblasti práva, Gaston fyzikou a nejmladší Francis byl velice uznávaným pianistou Paříže.

Gaston byl všestranně nadaný, předmětem jeho zájmu byla zejména matematika, fyzika přírodní vědy. Ve věku šestnácti let získal doktorát z filozofie, v devatenácti získal doktorát z přírodních věd. Ve své akademické kariéře poté pokračoval na Sorboně, kde pracoval jako asistent fyziky pod

vedením Edmunda Becquerela. Mimo jiné se také zabýval paleontologií – v roce 1855 objevil fosílii prehistorického nelétavého ptáka, který byl pojmenován *Gastornis parisiensis*.

V roce 1859 představil Akademii věd svou klíčovou práci o olověných akumulátorech. Jeho první model se skládal ze dvou vrstev olova, navzájem od sebe oddělených gumovými proužky. Tyto olověné desky byly stočeny do spirály a následně ponořeny do roztoku 10% kyseliny sírové. První olověný akumulátor se nesetkal s úspěchem.



Obr. 3.2: První dobíjitelná olověná baterie [4]

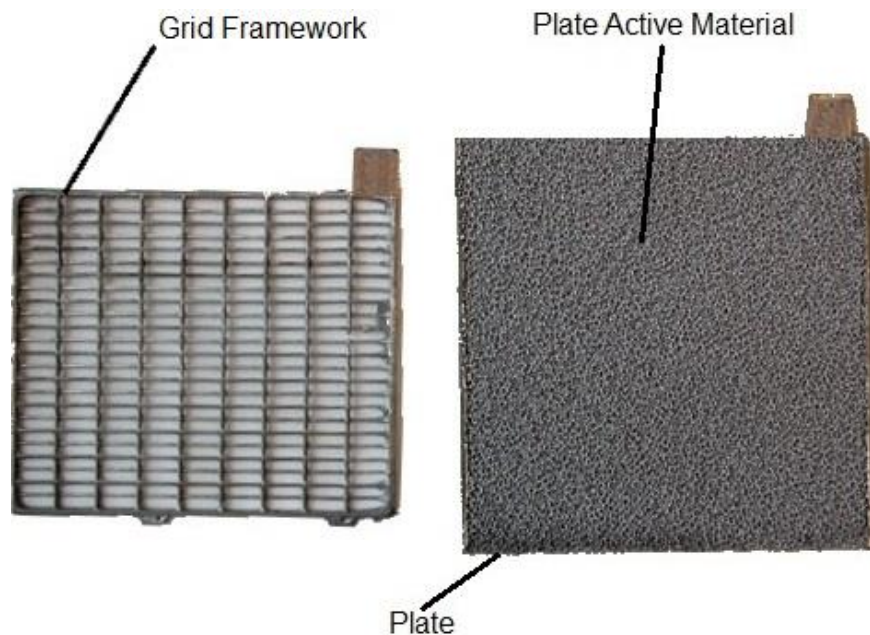
Na výstavě ve Vídni v roce 1873 Planté předvedl kombinaci parního motoru (s generátorem) s dva kilometry vzdálenou pumpou [5]. Ačkoliv olověný akumulátor byl vytvořen již v roce 1859, až výstava ve Vídni přitáhla pozornost veřejnosti k akumulátoru. Po této výstavě se mnoho vědců začalo věnovat myšlence zdokonalování olověných akumulátorů.

3.2 Vývoj olověného akumulátoru

Průmyslová výroba olověných akumulátorů začala v roce 1880, kdy Camille Alphonse Faure zdokonalil původní olověný akumulátor. Faure potáhl obě strany olověného plechu pastou z olovnatých oxidů, kyseliny sírové a vody. Při vytvrzování desek v teplém prostředí ve vlhké atmosféře se pasta změnila na směs síranů olova, které přilnuly k olověné elektrodě. Během nabíjení byla vytvrzená pasta přeměněna na elektrochemicky aktivní látku, tím došlo ke značnému zvýšení kapacity akumulátoru.

Brzy se rozvinula myšlenka vyřezání obdélníkových (viz obr. 3.3) otvorů do olověných desek, aby se snížila jejich hmotnost a vytvořily se nádoby, do kterých by mohla být pasta zabalena.

Tak vznikla moderní baterie, která je dnes nejčastějším typem olověného akumulátoru [6].



Obr. 3.3: Moderní olověná elektroda [2]

Do roku 1910 konstrukce olověných akumulátorů zahrnovala použití dřevěné nádoby potažené a utěsněné vrstvou asfaltu, dřevěných separátorů. K výrazné změně v konstrukci došlo na počátku dvacátých let 20. století, kdy bylo dřevěné pouzdro a separátory nahrazeny vůči kyselinám odolnými plasty. Tato změna vedla k celkovému poklesu kapacity. Dřevěné separátory uvolňovaly lignosulfáty, které v záporné aktivní hmotě zabraňují pasivaci vrstvy PbSO_4 na povrchu elektrody díky lepšímu vytváření pórovité vrstvy krystalů PbSO_4 a zvětšují tím kapacitu záporných elektrod [7]. Tento problém byl vyřešen přidáváním lignosulfátů do záporné aktivní hmoty při výrobě. Během následujících třiceti let nedošlo k výrazným změnám v konstrukci, ačkoliv byla zvýšena účinnost aktivních látek použitím přísad a zkvalitněním materiálu.

Na začátku šedesátých let byla vypracována metoda pro automatické spojování desek stejné polaritě uvnitř článku. Současně byla vyvinuta technika spojování do série skrze stěny článků. To vedlo k výraznému snížení vnitřního odporu baterie a potřebného množství propojovacích kabelů. Dalším velkým krokem kupředu byla v tomto období imobilizace elektrolytu ve formě tixotropického gelu (Otto Jache 1958), později akumulátor s elektrolytem nasáknutým ve skleněných vláknech separátoru (McLelland a Devit 1967). To vedlo ke vzniku bezúdržbových ventilů řízených olověných akumulátorů.

Významný pokrok byl také dosažen v designu desek a výrobních technikách, které vedly k vytvoření efektivnějších baterií s vysokým výkonem. V pozdních šedesátých letech se začal vyrábět kryt baterie ze stříkaného polypropylenu, pouzdro z polypropylenu

poskytlo olovené baterii lehkou a při tom odolnou nádobu. Mimoto tenké venkovní stěny a přepážky umožnily použití aktivnějšího materiálu bez zvýšení celkové hmotnosti nebo objemu baterie.

V současnosti není stále vývoj oloveného akumulátoru u konce. V současnosti je vývoj ovlivněn především snahou optimalizovat olovený akumulátor pro provoz elektrických vozíků, hybridních automobilů a solárních elektráren.

3.3 Historie používání olovených akumulátorů

První aplikace Plantého oloveného akumulátoru bylo napájení světla ve vlakových vozech při zastavení ve stanicích.

Prvním významnějším použitím se však staly záložní baterie, které poskytovaly elektrickou energii základnímu vybavení v nouzových případech.

Ke konci 19. století se začali objevovat první elektrické automobily, které byli poháněny oloveným akumulátorem. Postupem času došlo k rozšíření jejich používání v oblasti osvětlení silničních vozidel, spouštění motoru a napájení elektrických zařízení vozidla.

Většina olovnatých akumulátorů je použita v automobilovém průmyslu jako startovací baterie, v roce 1999 bylo dodáno do tohoto odvětví 320 milionů akumulátorů [8].

Olovnaté baterie na bázi mokřých článků, určené k hlubokému vybíjení se běžně využívají jako záložní zdroje pro rozsáhlé telefonní a počítačová centra, nebo ke skladování energie v síti. V případě výpadku proudu napájí nouzové osvětlení, čerpadla, nemocniční zařízení. Takto široké používání olovených akumulátorů různých provedení, velikostí a napětí je přisuzováno zejména jeho poměrně nízké ceně a jednoduchosti výroby.

Trakční akumulátory se v dnešní době hojně využívají zejména pro pohon vysokozdvizných vozíků, dříve se také využívali u hybridních vozidel. Velké olovené akumulátory se také používají k napájení elektromotorů naftově-elektrických ponorek, nebo jako nouzové napájení jaderných ponorek.

4 Současné a očekávané budoucí používání zadaných typů akumulátorů

4.1 Současné použití olověných akumulátorů

Olověné baterie jsou využívány v široké škále aplikací, v posledních několika letech se objevily další využití především pro menší uzavřené bezúdržbové články. Ty jsou hojně využívány v elektronice a pro přenosná zařízení a s pokročilým designem pro elektromobily nebo jako zásobárna energie.

Tradičně nejběžnější použití olověných akumulátorů v automobilovém průmyslu jako tzv. startovacích akumulátorů pro startování, osvětlení a zapalování. Ačkoliv se akumulátory nazývají startovací, plní v automobilu i jiné velmi důležité funkce. Napájí centrální odemykání dveří, vyhřívaná sedadla, počítač, elektrický posilovač, alarm, elektrickou převodovku, elektronický posilovač řízení nebo ABS. V menší míře je využívána u elektromobilů, jako primární zdroj energie pro pohon.

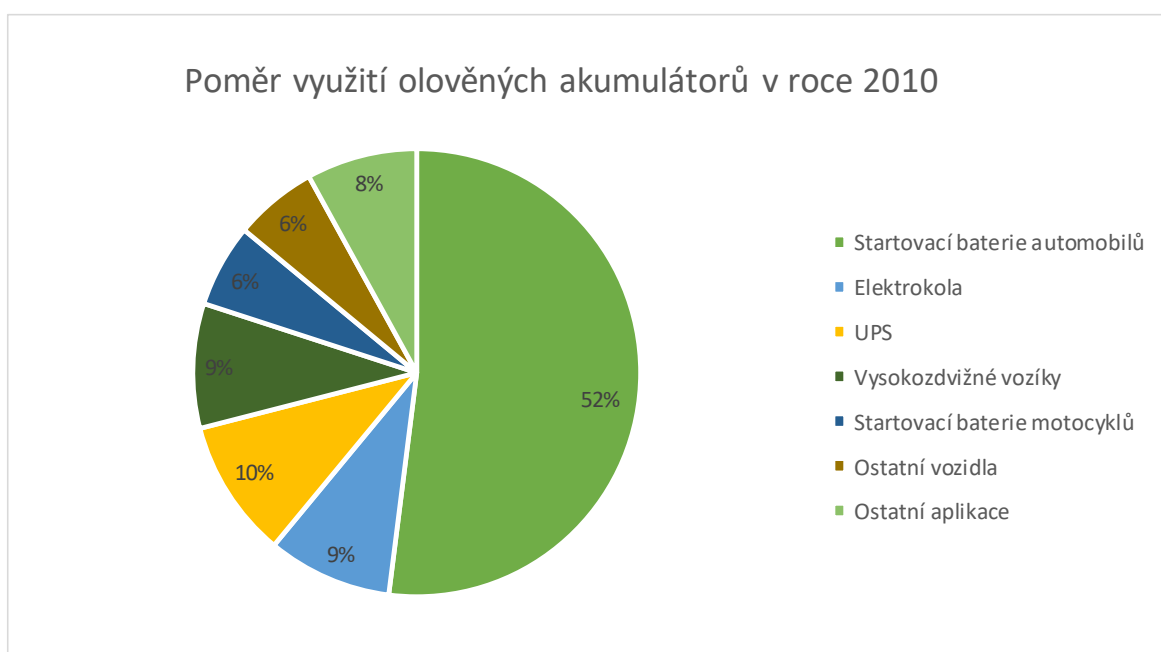
Olověné akumulátory vysoké kapacity se používají pro vyrovnávání zatížení v elektrických napájecích systémech jako alternativa splnění špičkových požadavků na energii, které jsou v současné době vybaveny energeticky drahými plynovými turbínami. Velikostně menší akumulátory se využívají k ukládání energie v systémech využívajících obnovitelné zdroje, jako větrné a solární elektrárny.

Trh námořních baterií zahrnuje malá a velká plavidla pro rekreaci, která se používají k rybolovu, plachtění a cestování, stejně jako velké obchodní lodě zabývající se tažením, osobní dopravou. Využívají se zde akumulátory s napětím v rozmezí 6-220V, kde dobíjení je prováděno generátorem motoru nebo alternátorem [8]. Obvykle se používají tyto tři typy akumulátorů: konvenční se zaplavenými články, s absorbovaným elektrolytem nebo s elektrolytem ve formě gelu.

V posledních letech došlo ke značnému využití olověných akumulátorů v odvětví spotřebního vybavení, jako například přenosné nářadí, hračky, kalkulačky, rádia a televize, spotřebiče, fotografické vybavení. Baterie pro tyto aplikace jsou typicky malé kapacity do 25Ah. Akumulátory musí být uzavřené, nebo zabezpečené proti vylití tak, aby fungovaly ve všech polohách. Používají se zejména válcové a hranolové tvary olověných akumulátorů, jako konkurence nikl-kadmiových baterií. Olověné baterie v porovnání

s nikel-kadmiovými jsou levnější, mají vyšší napětí na článku a postrádají paměťový efekt (ztráta kapacity při používání v mělkých cyklech), nikel-kadmiové poskytují delší životnost.

Zdroj nepřerušovaného napájení (UPS), je zařízení zajišťující souvislou dodávku elektrické energie pro spotřebiče, které nesmí být nečekaně vypnuty. Pokud není přerušena dodávka ze sítě, je baterie udržována v nabitém stavu a funguje jako ochrana proti problémům sítě (rušení sítě, napětíové rázy, dlouhodobé přepětí, ...). V momentě přerušování dodávky elektřiny z primárního zdroje zajišťuje napájení. Využívají se zejména pro chránění telekomunikačních zařízení, počítačových systémů, nemocniční přístroje. Nejčastěji jsou využívány ventilem řízené bezúdržbové akumulátory.



Obr. 4.1: Graf poměru využití olověných akumulátorů v roce 2010 [9]

4.2 Budoucí použití olověných akumulátorů

Z dlouhodobého hlediska je budoucnost olověných akumulátorů značně nejistá, zejména z důvodu ekologičnosti a snahou omezit produkci částí obsahující toxické olovo. Ačkoliv dochází k recyklaci téměř 97% všech olověných akumulátorů. Dochází k exhalaci toxických zplodin, při těžbě surovin, výrobě akumulátorů i jejich recyklaci. Z tohoto

důvodu se zde objevuje snaha nahradit olověné baterie akumulátory jiných typů, popř. palivovými články.

Velmi slibná se zdá být akumulátor označovaný jako UltraBattery. UltraBattery kombinuje technologii superkondenzátoru s technologií olověných akumulátorů v každém článku. Tyto baterie vyvinuté Organizací vědeckého a průmyslového výzkumu Commonwealthu (CSIRO) a japonskou společností Furukawa Battery se vyznačují delší životností oproti konvekčním VRLA bateriím a nižší výrobní cenou oproti bateriím s podobným výkonem. Jedná se o pokrokovou technologii, která by mohla najít uplatnění na trhu středně hybridních nebo dokonce plug-in hybrid aplikací. Jsou vyráběny jak v provedení VRLA, tak i jako zaplavená verze. Verze se zaplavenými elektrodami spadá do nové kategorie startovacích akumulátorů tzv. zaplavené akumulátory s prodlouženou životností. Jsou vyvíjeny pro aplikaci pro nová micro-hybridní vozidla. Tento akumulátor na rozdíl od tradičních olověných umožňuje provozování vozidla se start-stop systémem.

Zatím však neexistuje akumulátor, který by dokázal plně nahradit ten olověný. To je způsobeno zejména jednoduchostí výroby, poměrně nízkou výrobní cenou a cenou údržby, vysokým napětím na článku. Z tohoto důvodu se budou i nadále používat olověné akumulátory ve stejné míře jako doposud.

5 Základní konstrukce a rozdělení olověného akumulátoru

Olověné akumulátory se skládají z několika hlavních komponentů: Nádoba a víko akumulátoru, separátory, články, spojovací a článkové můstky, zátky článků, pólové vývody, elektrolyt, indikátor hustoty elektrolytu, indikátor dolité elektrolytu.

5.1.1 Nádoba akumulátoru

Nádoba akumulátoru plní ochranou funkci a zároveň funguje jako nádoba na elektrolyt. Pro menší akumulátory se vyrábějí nádoby s několika články jako monoblok, pro akumulátory větších kapacit se vyrábí nádoby pro jednotlivé články. Desky článků musí být upevněny v dostatečné vzdálenosti ode dna, aby nemohlo dojít ke zkratku usazenými částicemi aktivních desek, které se vydrolily vlivem sulfatace. Na dně nádoby jsou žebra, která fungují jako výztuž a zároveň zabraňují zkratu. V nejvyšší části nádoby je plynovací prostor pro plyny vznikající elektrolýzou vody obsažené v elektrolytu. Nádoby se vyrábí z polypropylenu, tvrdé pryže, nebo jiných plastických hmot.

Dříve hojně používané nádoby z tvrdé pryže jsou v současné době nahrazovány nádobami z plastických hmot. Plastové nádoby se vyznačují nižší hmotností, lepší nárazuvzdorností. Nejpoužívanější materiál současnosti je například polypropylen (PP), polypropylen ether (PPE), akrylostyrenová pryskyřice (AS) a akrylonitrilbutadienstyren (ABS).

5.1.2 Víko akumulátoru

Oddělují vnitřní prostor článku od okolního prostředí, zamezují znečišťování elektrolytu, omezují odpařování vody z elektrolytu a únik výparů do okolního prostředí.

Víko je pevně spojeno s nádobou lepením nebo zatavením, v případě pryžové nádoby je zalito a utěsněno asfaltem. Ve víku se nachází otvory pro pólové nástavce, vývody jednotlivých článků, zátky. V případě, že se ve víku nenachází zátky, není možné dolévat elektrolyt a jedná se o bezúdržbové akumulátory.

Zhotovují se ze stejných materiálů jako nádoby.

5.1.3 Separátory

Elektricky oddělují v člancích kladné elektrody od záporných. Funkcí separátoru je zamezit zkratům způsobených přímým stykem kladné a záporné elektrody uvnitř článku.

V současnosti se používají separátory plošné, které překrývají celou plochu elektrody. Hlavní požadavky na vlastnosti separátoru jsou: co nejmenší elektrický odpor, umožňovat co největší průchod iontů SO_4^{2-} a současně zabraňovat průchodu kovových iontů z elektrod.

Používané druhy separátorů:

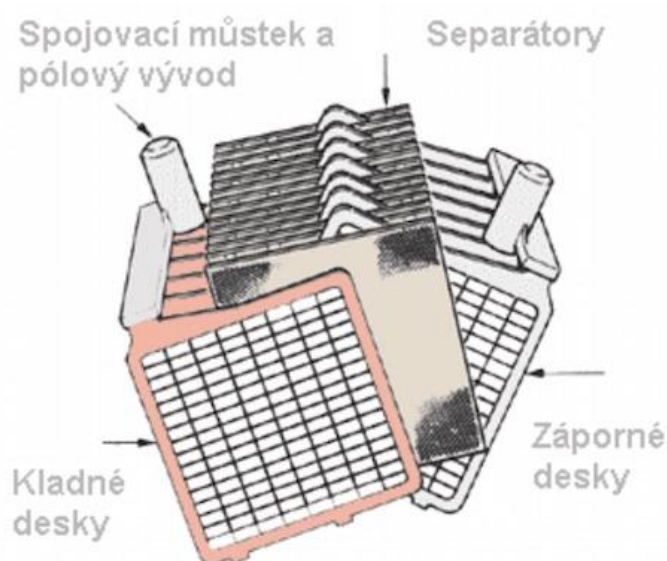
- Tvar listů přesahující rozměr elektrody, aby v případě posunu nedošlo ke zkratu. Separátor je z jedné strany opatřen žebrováním, které se přikládá ke kladné elektrodě. Žebrování umožňuje klesání uvolněných částic aktivní hmoty.
- Tvar obálek, kladné elektrody jsou do nich vloženy. Uvolněná aktivní hmota zůstává uvnitř obálky, tím je zamezeno riziku zkratu.

Separátory jsou nejčastěji vyráběny z dlouhovláknové celulózy impregnované fenolfomaldehydovou pryskyřicí, ze skelných vláken, z plastických hmot odolných vůči kyselině sírové.

5.1.4 Elektrody

Elektrody jsou základní částí akumulátorů, na jejich konstrukci závisí kapacita akumulátoru, maximální možná velikost vybíjecího proudu a životnost v provozu.

Pro získání širší kapacitní řady akumulátorů se kladné elektrody spojují paralelně v kladné sady a záporné elektrody v sady záporné, to můžeme vidět na obrázku 5.1. Kapacita jedné kladné elektrody násobená počtem elektrod v sadě pak udává kapacitu akumulátoru [10].



Obr. 5.1: Konstrukce článku akumulátoru [11]

5.1.4.1 Kladné elektrody

Jsou limitujícím faktorem životnosti akumulátor z důvodu většího namáhání chemickými a fyzikálními změnami, než je tomu u elektrod záporných. Aby kladné elektrody co nejvíce vyhovovaly účelu použití akumulátoru, vyrábí se v různých provedeních.

5.1.4.1.1 Velkopovrchové (Plantého) elektrody

Jsou odlévány z 99,99% olova, mívají tloušťku 7 až 12 mm. Aktivní hmota PbO_2 se vytváří pouze na povrchu v tenké vrstvě, proto se povrch elektrody zvyšuje žebrováním. I po této úpravě tvoří aktivní hmota pouze 25% celkové hmotnosti elektrody.

Dříve se využívaly pro bateriový provoz nebo pro provoz trvalého nabíjení. V současné době se používají pro staniční účely s trvalým dobíjením na konstantní napětí 2,23V na článek.

Vyznačují se dlouhou životností, řádově 15 až 20let. I přes dlouhou životnost, využití velkopovrchových elektrod klesá. To je způsobeno zejména jejich nízkou efektivností využití olověného materiálu, vysoká hmotnost a velký objem akumulátoru.

5.1.4.1.2 Mřížkové elektrody

Vyráběny odléváním olova s příměsí 5 až 7% antimonu pro zajištění lepších licích vlastností a pro zvýšení mechanické pevnosti elektrod. Příměs antimonu měla však za následek zvýšené samovybíjení akumulátoru. Proto bývá v současnosti antimon často nahrazován vápníkem, arzenem nebo telurem.

Mezi hlavní výhody mřížkových elektrod patří snadná výroba, nízký vnitřní odpor, nízká hmotnost a cena. Nevýhodou však je jejich životnost, která dosahuje pouze 300 až 700 cyklů.

5.1.4.1.3 Trubkové elektrody

Elektrody jsou sestaveny z olověného hřebene, jehož trny jsou zasunuty v trubicích z kyselinovzdorných textilních vláken, aktivní hmota pak vyplňuje prostor kolem trnů v trubicích. Textilní trubice brání uvolňování aktivní hmoty a její odpadávání do kalového prostoru akumulátoru [10].

Životností 10 až 18 let se blíží elektrodám velkopovrchovým, jejich hmotnost se ovšem blíží hmotnosti elektrod mřížkovým.

Trubkové elektrody jsou typické oproti elektrodám mřížkovým složitější výrobou a větším vnitřním odporem.

5.1.4.1.4 Tyčové elektrody

Mají kolektor podobný elektrodám mřížkovým s tím rozdílem, že svislá žebra jsou zesílena do tvaru tyček. Tím se snižují proudové ztráty v kolektoru při zatěžování vyššími proudy a prodlužuje se životnost elektrod (zkorodování kolektoru probíhá pomaleji). Aktivní hmota je po nanesení na kolektor zpevněná uzavřením do tašky (obálky) plastového separátoru [10].

Dosahují podobné životnosti jako elektrody trubkové, mají však menší vnitřní elektrický odpor a objem.

5.1.4.2 Záporné elektrody

Záporné elektrody jsou pro všechny olověné akumulátory vyráběny ve formě mřížkových, odléváním nebo válcováním.

5.1.4.3 Jiné konstrukce elektrod

5.1.4.3.1 Spirálové elektrody

Zhotovují se válcováním elektrod z pásu čistého olova a vmazáním pasty aktivní hmoty do mřížek. Pásky kladné a záporné elektrody se po proložení speciálním separátorem ze skleněných mikrovláken svinou do těsné spirály a vkládají do článkové nádoby válcovitého tvaru. Elektrolyt je pouze nasáknut do separátoru a aktivních hmot elektrody [10].

Elektrody tohoto typu dosahují značně vyšší životnosti, mnohdy až trojnásobku životnosti elektrod Plantého.

5.1.4.3.2 Diskové elektrody

Elektrody kruhového tvaru z jedné strany vyduté do tvaru stříšky, jsou určeny zejména pro staniční akumulátory. Elektrody se sestavují do sloupců, elektrody jsou od sebe navzájem odděleny separátorem. Kladné elektrody jsou navzájem paralelně spojeny svářením sloupců po obvodu, záporné jsou paralelně spojeny pomocí středového prstence.

5.1.5 Spojovací články a můstky

Článkové můstky, nejčastěji ze slitin olova, spojují všechny kladné a všechny záporné elektrody uvnitř článku. Každý tento můstek je vybaven článkovým vývodem. Jednotlivé články jsou dále spojeny pomocí spojovacích článků spojeny do série.

5.1.6 Zátky článků

Vyrábí se v mnoha provedeních, jednotlivé těsně vsazené, s bajonetovým uzávěrem, šroubované, případně několik zátek propojených do pásu. Jsou navrženy tak, aby oddělily výpary kyseliny sírové od plynů, které se uvolňují z článků jako vedlejší produkt probíhajících chemických reakcí [13].

Speciální zátky:

- Bezpečnostní zamezují roztržení nádoby článku explozí směsi kyslíku a vodíku. Jsou opatřeny slinutým keramickým materiálem, který umožňuje únik plynů ven z článku, při vznícení plynů zamezuje šlehnutí plamene do článku.
- S katalyzátorem pro rekombinaci kyslíku a vodíku na vodu, zamezují úbytku vody z elektrolytu, akumulátory opatřené tímto typem zátky není nutné v průběhu jejich životnosti dolévat.
- Zátky pro automatické doplňování hladiny elektrolytu jsou použity zejména u trakčních baterií. Zátky mají plovákový ventil a jsou navzájem propojeny hadičkou, při doplňování elektrolytu se ke zdroji destilované vody připojí konec hadičky. Při nízké hladině elektrolytu v článku je ventil otevřen a voda vtéká do článku, dokud hladina nedosáhne výše stanované plovákem. Poté dojde k uzavření přítoku vody.

5.1.7 Elektrolyt

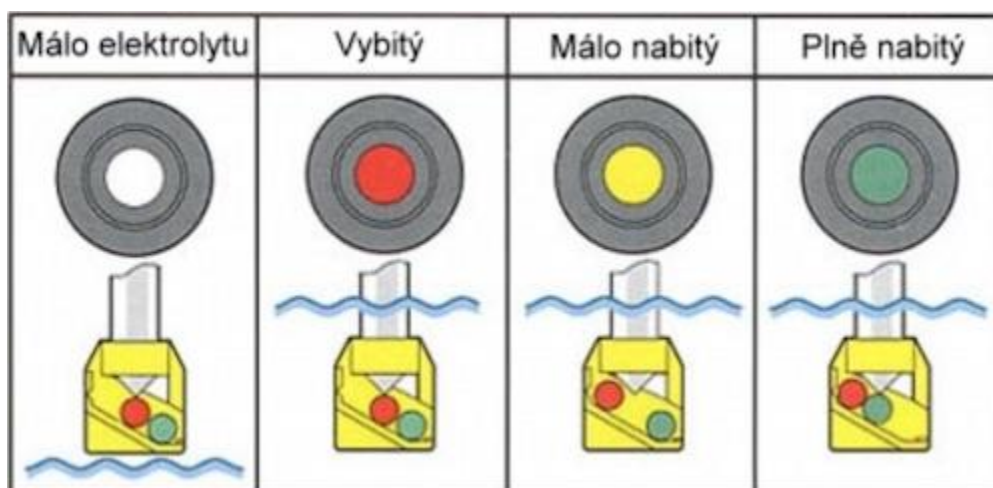
Elektrolyt je roztok, který vzniká rozpouštěním iontových sloučenin v polárních rozpouštědlech. Umožňuje vedení proudu pomocí iontů a zároveň se podílí na chemických reakcích uvnitř článku. V případě oloveného akumulátoru se jedná o roztok zředěné kyseliny sírové (H_2SO_4) destilovanou vodou, odpovídající čistotou ČSN 65 1230.

Při plném nabití činí koncentrace kyseliny sírové 64%. Hustota elektrolytu startovacího akumulátoru při teplotě 20°C a při plném nabití odpovídá 1,285 kg/l. Mezi elektrolytem a aktivní hmotou desek dochází k chemické reakci, která při nabíjení spotřebovává a při vybíjení vytváří elektrický proud [13].

Při poklesu hladiny elektrolytu dochází pouze k doplňování destilovanou vodou. K doplnění kyseliny sírové dochází jen ve zcela výjimečných případech např. převrnutí akumulátoru.

5.1.8 Indikátor hustoty elektrolytu

Některé bezúdržbové baterie jsou vybaveny indikátorem hustoty elektrolytu (nabití). Na základě změny hustoty při nabíjecím/vybíjecím cyklu dochází ke změně barvy kontrolního terčíku. Funkce indikátoru je znázorněna na obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Indikátor hustoty elektrolytu [11]

5.1.9 Indikátor dolití elektrolytu

Indikátor dolití elektrolytu destilovanou vodou můžeme nalézt u většiny dnešních trakčních akumulátorů. Slouží k indikaci hladiny elektrolytu po dobíjecím cyklu, fungují na principu plováku, při dosažení požadované hladiny dojde k uzavření přítoku destilované vody do daného článku a dochází k dolití článků ostatních.

5.2 Základní typy vyráběných akumulátorů

5.2.1 Rozdělení podle způsobu uzavření akumulátorové nádoby

5.2.1.1 Akumulátor s otevřenými články

Články nejsou opatřeny víkem, tím je značně omezena jejich použitelnost, neboť může dojít k snadnému vylití. Jedná se převážně o historickou koncepci, která v dnešní době nachází uplatnění pouze v laboratořích.

5.2.1.2 Akumulátor s uzavřenými články

Články jsou uzavřeny víčky s otvorem, kterým mohou unikát z článku plyny vznikající při nabíjení. Je třeba pravidelně provádět kontrola hladiny elektrolytu, případně ji dorovnat destilovanou vodou. Z důvodu otvoru ve víku, může tento typ akumulátoru pracovat pouze v jedné poloze.

5.2.1.3 Ventilem řízené akumulátory

Označovány jako VRLA akumulátory (Valve Regulated Lead Acid batteries). Baterie, jejíž články jsou uzavřené, vybavené ventilem, který umožňuje unikání plynu, pokud vnitřní tlak přesáhne stanovenou hodnotu. Vyrábí se v provedení se zátkami i bez zátek. U varianty se zátkami se dolévá destilovaná voda ve stanovených intervalech, u varianty bez zátek se předpokládá, že původní náplň vystačí po celou dobu životnosti baterie [12].

5.2.1.4 Hermeticky uzavřené akumulátory

Uzavřený plynotěsný akumulátorový článek (hermetický akumulátor) je akumulátorový článek, který zůstává uzavřený a neuvolňuje ani plyn ani kapalinu. Článek nevyžaduje doplňování elektrolytu a je konstruován pro provoz po celou dobu životnosti ve svém původním uzavřeném plynotěsném stavu [14]. K úniku plynů nebo elektrolytu může dojít pouze v případě poškození nádoby. Díky tomu může tento typ akumulátorů pracovat v libovolné poloze.

5.2.2 Rozdělení podle typu elektrolytu

5.2.2.1 Akumulátor se zaplavenými elektrodami

Jedná se v dnešní době o nejčastěji používaný typ akumulátorů. Elektrody jsou zaplaveny vodným roztokem kyseliny sírové. Oproti akumulátorům s elektrolytem ve formě gelu nejsou tak náročné na údržbu. Údržba spočívá především v pravidelné kontrole hladiny elektrolytu, která při používání akumulátoru klesá. Hlavní příčinou poklesu hladiny elektrolytu je zejména elektrolýza H_2O (rozklad na kyslík a vodík) probíhající při nabíjení. V případě nedostatku elektrolytu je možné jej doplnit destilovanou vodou.

5.2.2.2 Akumulátory s vázaným elektrolytem (AGM)

Akumulátorový článek se skládá z množství kladných a záporných elektrod, které jsou odděleny speciálním separátorem ze skelných vláken dotovaných bórem, který těsně doléhá k elektrodám [12]. Konstrukce AGM akumulátorů zamezuje mezimřížkovým zkratům a omezuje drolení aktivní hmoty.

Jedná se o bezúdržbový akumulátor, který má velmi nízký vnitřní odpor, je schopen dodávat vysoké proudy a nabízí relativně dlouhou životnost. V porovnání s akumulátorem

se zaplavenými elektrodami je méně náchylný k sulfataci, má nižší hmotnost a zejména vyniká až pětikrát kratší dobou nabíjení [15]. Ovšem výrobní cena je vyšší a je náchylnější na přebíjení a vysoké teploty.

5.2.2.3 Gelový akumulátor

Typ VRLA akumulátoru s elektrolytem vázaným ve formě gelu, kyselina sírová je smíchána s jemným skelným práškem. Je možné jej provozovat v jakékoliv poloze, aniž by došlo k rozlití elektrolytu. Gelové akumulátory jsou levnější než konvenční zaplavené, proto je preferovaný jako UPS pro počítače, komunikační centra.

Gelové akumulátory mají všeobecně delší životnost v porovnání s AGM, a to zejména díky lepšímu sdílení tepla do okolí. Gelový odlučovač přenáší teplo, zatímco absorpční skleněná rohož AGM funguje jako izolátor [15]. Oproti ostatním typům lépe snášejí provoz za vyšších teplot, je ovšem náchylnější na přebíjení

5.3 Rozdělení podle způsobu použití

5.3.1.1 Trakční akumulátory

Trakční akumulátory se používají jako samostatný zdroj elektrické energie pro pohon dopravních prostředků jako jsou manipulační vozíky, golfových vozíky, čisticí stroje, elektromobily a elektrobusy. Akumulátory jsou určeny pro dlouhodobou dodávku elektrické energie, je pro ně typický provoz hlubokého vybíjení a nabíjení na plnou kapacitu. Nejdůležitější vlastností tohoto typu akumulátorů je dlouhodobá životnost v tzv. bateriovém provozu, to se ovšem promítá do jejich konstrukce, především v podobě velké hmotnosti. Je možné je provozovat v rozmezí teplot -20°C až $+40^{\circ}\text{C}$. Bývají vybaveny zařízením k promíchání elektrolytu vzduchem vháněným do článků trubičkami během nabíjení. Promíchávání se projevuje příznivě z hlediska zkrácení doby nabíjení o 30%, úspore elektrické energie o cca 15%, snížení spotřeby vody až o 75% [10]. Podle konstrukce kladných elektrod je možné trakční akumulátory dělit do dvou skupin:

1. Akumulátory s kladnými trubkovými elektrodami, jedná se o nejrozšířenější typ trakčních akumulátorů, životnost dosahuje více než 1000 cyklů, než dojde ke snížení kapacity na 80% původní kapacity.
2. Akumulátory s mřížkovými kladnými elektrodami, vydrží až 500 cyklů před tím než dojde k poklesu kapacity na 80% původní hodnoty.

Trakční akumulátory jsou vyráběny v provedení 24, 48 a 80V o kapacitách 110 až 1550Ah [10].

5.3.1.2 Staniční akumulátory

Jsou trvale připojeny ke zdroji elektrické energie a fungují pouze jako zdroj nouzového napájení při přerušení dodávky elektrické energie. Typické použití staničních akumulátorů je jako záložní zdroj nepřerušovaného napájení tzv. UPS, které se hojně využívá v telekomunikačních a počítačových sítích, v železniční dopravě, v metru nebo operačních sálech nemocnic. Hlavním požadavkem na staniční akumulátory je vysoká provozní spolehlivost a dlouhá životnost v provozu trvalého dobíjení [10].

Životnost staničních akumulátorů se pohybuje v rozmezí 4 až 20 let v závislosti na typu konstrukce.

Podle konstrukce kladných elektrod je dělíme do čtyř skupin:

1. Akumulátory s velkopovrchovými elektrodami, nádoba článku je v horní části rozšířena, tak aby bylo možné zavěsit kladné elektrody, záporné stojí svými patkami na hranolech na dně nádoby. Touto konstrukcí se liší od ostatních staničních akumulátorů. Životnost v ideálních podmínkách se pohybuje v rozmezí 15 až 20 let a interval doplňování vody je 2 roky [10].
2. Akumulátory s trubkovými kladnými elektrodami, jedná se o nejrozšířenější typ konstrukce, v provozu trvalého dobíjení se elektrolyt doplňuje v intervalu 3 až 5 let.
3. Akumulátory s mřížkovými kladnými elektrodami, životnost je v rozmezí 10 až 12 let za ideálních podmínek.
4. Akumulátory s tyčovými kladnými elektrodami

5.3.1.3 Startovací akumulátory

Jsou součástí každého vozidla s elektrickým startérem. Jejich hlavní účel je poskytování dostatečně velkého startovacího proudu pro elektrický startér vozidla (velikost proudu je řádově ve stovkách ampér) [12]. Startovací akumulátory jsou během provozu udržovány ve stále nabitém stavu pomocí alternátoru vozidla, k vybití dochází při startu vozidla, nebo ve výjimečné situaci.

Výhodou startovacích akumulátorů je především nízký vnitřní odpor, schopnost dodávat vysoký záběrový proud, relativně vysoká energetická účinnost.

6 Vlastnosti, provoz a udržování zadaných typů akumulátorů

6.1 Vlastnosti olověného akumulátoru

Olověný akumulátor je v současnosti nejpoužívanějším sekundárním zdrojem, hlavním důvodem je především jejich přijatelná cena v porovnání s ostatními typy akumulátorů, značná spolehlivost a dobrý výkon. V roce 2008 ze všech prodaných sekundárních článků bylo 70% olověných.

Vnitřní odpor olověného akumulátoru činí pouze $0,001\Omega$, díky tomu je schopen krátkodobě dodávat velké množství energie při zanedbatelném poklesu jeho svorkového napětí. Tato vlastnost je podstatná zejména při startování vozidla, startér je schopen odebírat až 300A. To je hlavní důvod, proč v oblasti startovacích akumulátorů dosud nebyl olověný akumulátor nahrazen.

Nejvyšší napětí na článku ze všech baterií s vodným elektrolytem, při nabitém stavu napětí přesahuje hodnotu 2.0V.

Olověný akumulátor oproti ostatním druhům vykazuje také vyšší energetickou účinnost, která činí až 85%.

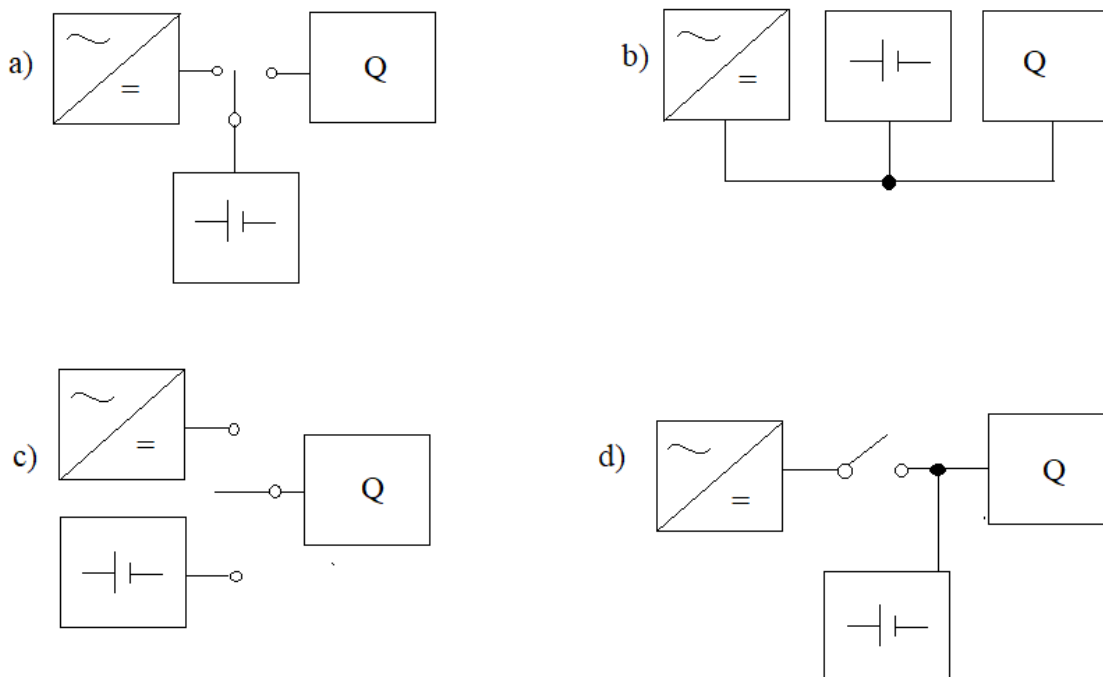
$$\text{Energetická účinnost} = \frac{\text{Elektická energie odebraná z akumulátoru}}{\text{Elektrická energie dodaná při nabíjení}} * 100$$

Celková účinnost je do značné míry ovlivněna řadou faktorů. Rychlostí nabíjení, čím vyšší je rychlost nabíjení, tím nižší je výsledná účinnost. Pokud je baterie dobita na méně než polovinu k opakovanému částečnému dobíjení, dochází k snižování kapacity s každým nabíjecím cyklem. Přetrvávající stav neúplného dobíjení vyústí ve snížení životnosti akumulátoru.

Značná nevýhoda olověného akumulátoru spočívá v jeho hmotnosti, která je v porovnání s nikl-železným 4 až 5x větší. V porovnání s ostatními typy dosahuje nižší celkové životnosti 50-500 cyklů, u speciálních provedení až 2000 cyklů. Omezená hustota energie, obvykle 30-40 Wh/kg. Dlouhodobé skladování ve vybitém stavu vede k sulfataci článků.

6.2 Provoz olověného akumulátoru

Akumulátory lze používat podle druhů spotřebičů několika způsoby viz Obr. 6.1.



Obr. 6.1: Schéma základních druhů provozu akumulátorů, a) bateriový, b) paralelní, c) přepínací, d) měnitelný

6.2.1 Bateriový provoz

Baterie pracuje v cyklu nabíjení-vybíjení, akumulátor je nabíjen usměřňovačem a vybíjen spotřebičem. Spotřebič je napájen pouze z baterie. Tento druh provozu je typický u trakčních baterií pro pohon elektrických vozidel, invalidních vozíků, plošinových vozíků, elektromobilů, elektrokol, apod. V bateriovém provozu též mohou pracovat malé přístrojové baterie, zajišťující činnost přístroje nezávisle na síti.

6.2.2 Paralelní provoz

Stejnoseměrný napájecí zdroj, baterie a spotřebič je trvale paralelně spojen, z tohoto důvodu je nabíjecí a provozní napětí shodné s napětím na baterii. Paralelní provoz se dále dělí na pohotovostní a vyrovnávací.

6.2.2.1 Paralelní provoz pohotovostní

Usměrňovač kryje odběr proudu spotřebičem a zároveň proud potřebný pro nabití akumulátoru. Po nabití baterie přechází nabíjení na trvalé dobíjení o konstantním napětí 2,23 až 2,3V. Baterie je zdrojem proudu pouze při výpadku stejnosměrného napájecího zdroje.

Výhodou pohotovostního paralelního provozu je rychlejší počáteční obnova kapacity baterie. Nevýhoda spočívá v potřebě výkonnějších, napětově stabilizovaných usměrňovačů, proto se většinou využívá dobíjecí charakteristiky IU.

6.2.2.2 Paralelní provoz vyrovnávací

Usměrňovač je dimenzovaný na střední odběr proudu spotřebiče. Při nízkém odběrovém proudu dochází k dobíjení baterie, při vysokém odběru napomáhá baterie krýt dodávku proudu spotřebiči. Baterie proto nemusí být vždy zcela nabita, přesto je nabíjena na konstantní hodnotu 2,275V na článek. Při výpadku proudu, kryje celou dodávku proudu baterie.

Hlavní výhodou vyrovnávacího paralelního provozu jsou levné usměrňovače pracující v režimu W, nevýhodou je kolísání odběru proudu, časté kontroly pracovního režimu a nastavování usměrňovače.

6.2.3 Přepínací provoz

Umožňuje napájení spotřebičů střídavým proudem. Baterie je od spotřebičů odpojena a intervalově nabíjena, popř. trvale dobíjena odděleným usměrňovačem [16]. Při výpadku elektrického proudu se spotřebič automaticky přepne na napájení z baterie. Tento systém provozu se používá zejména u nouzových osvětlení, v nemocnicích, kde je třeba udržet přístroje stále v chodu.

6.2.4 Měnitelný provoz

Baterie je trvale připojena ke spotřebiči. S připojeným usměrňovačem (je-li zároveň napájen ze sítě) pracuje v paralelním provozu, při odpojení od sítě pracuje v bateriovém režimu.

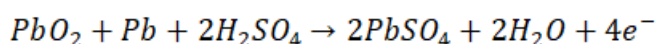
Uvedený systém je vhodný např. pro napájení různých přenosných přístrojů ze sítě (stejnoseměrným proudem pomocí usměrňovače v přístroji) a v případě potřeby z vlastní vestavěné akumulátorové baterie [10].

6.2.5 Procesy probíhající při provozu akumulátorů

6.2.5.1 Vybíjení

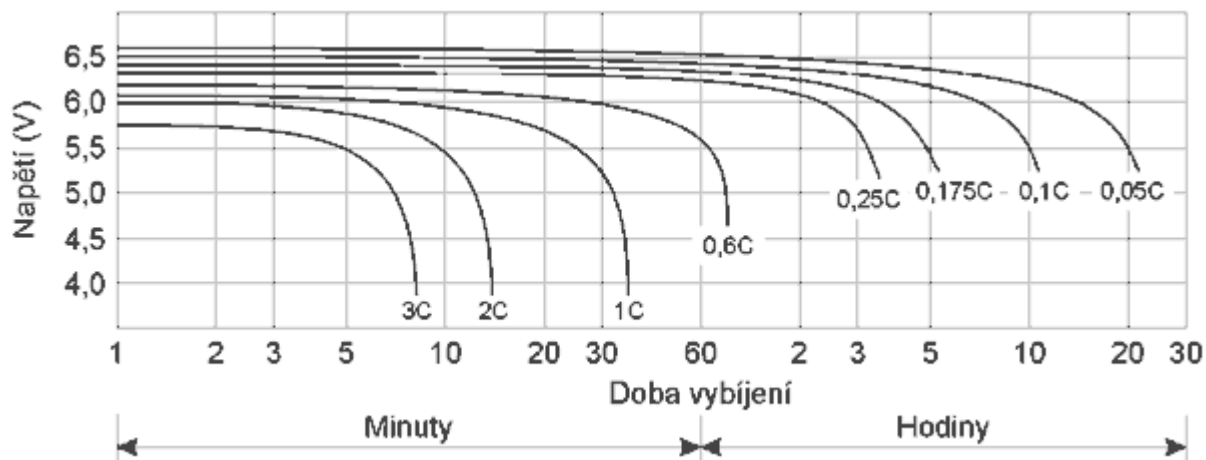
Při vybíjení dochází ke snižování hustoty elektrolytu (spotřebě H_2SO_4 a vzniku vody), na kladné elektrodě se začíná tvořit červenohnědý a na záporné elektrodě tmavošedý síran olovnatý ($PbSO_4$), jehož vodivost je v porovnání s oxidem olovičitým (PbO_2) nižší. U plně nabitého akumulátoru dosahuje koncentrace H_2SO_4 28-40% v závislosti na typu akumulátoru. Čím menší je objem elektrolytu v porovnání s množstvím aktivního materiálu elektrod, tím větší je pokles koncentrace při vybíjení [17].

Základní rovnice vybíjení:



6.2.5.1.1 Vliv vybíjecího proudu na kapacitu

S narůstajícím proudem dochází k většímu zatěžování povrchové vrstvy aktivních materiálů vznikajícím síranem olovnatým. Pro správnou funkci elektrod je vysoce významná jejich pórovitost, která umožňuje průnik H_2SO_4 do celého objemu elektrody. Při vybíjení dochází k poklesu této pórovitosti, protože měrný objem síranu olovnatého je větší, než měrný objem olova a oxidu olovičitého. Proto při nárůstu nabíjecího proudu dochází k poklesu využitelné kapacity akumulátoru a zkracuje se doba po kterou může být akumulátor vybíjen. Kapacita akumulátoru v Ah je množství elektrické energie, které je schopen akumulátor dodat při zatížení jmenovitým proudem. Jmenovitý proud odpovídá 1/20 celkové kapacity akumulátoru. Při zatížení akumulátoru jiným, než jmenovitým proudem dochází k nepřímě úměrné změně kapacity akumulátoru s rostoucím proudem, viz vybíjecí křivky na obrázku 6.2. Celková kapacita akumulátoru je dále značně závislá na teplotě v průběhu vybíjení, konečném napětí a momentálním stavu baterie.



Obr. 6.2: Vybíjecí křivky při teplotě 20°C

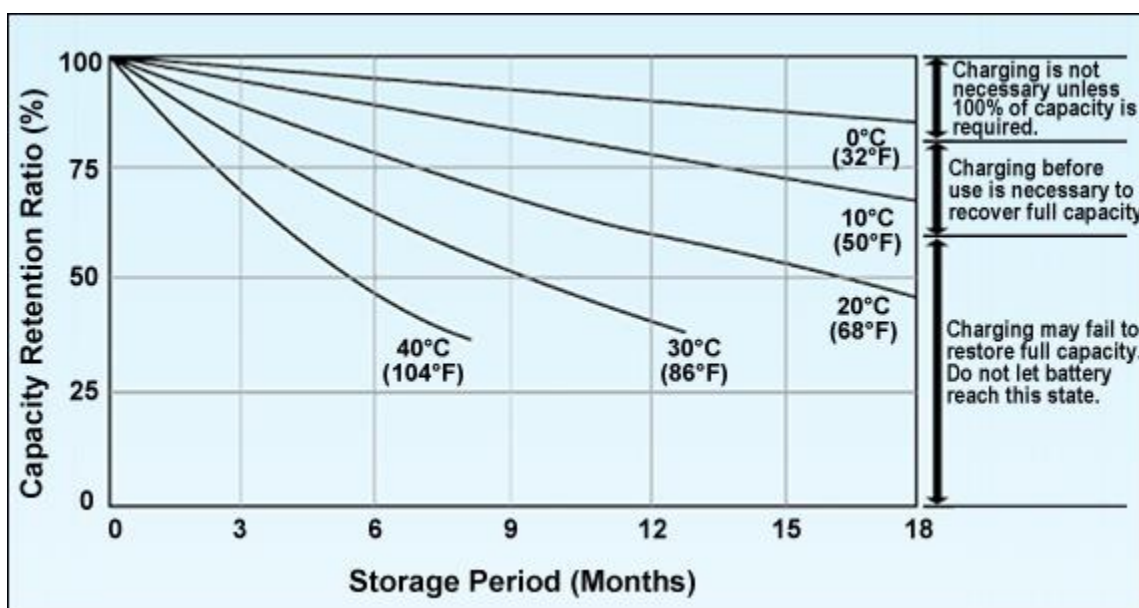
6.2.5.1.2 Vliv teploty na kapacitu

Při teplotách nad +20°C dosahuje akumulátor vyšší kapacity, ale zároveň se zvyšují ztráty samovybitím a zkracuje se jeho životnost. Nejnáchylnější na vzestup teploty jsou akumulátory řízené ventilem, u kterých při trvalém zvýšení teploty o 10°C dochází ke zkrácení životnosti o 50% [10]. Na pokles kapacity za nízkých teplot jsou náchylné zejména záporné elektrody, proto se do aktivního materiálu při výrobě přidávají expandéry, které zajišťují udržení potřebné poréznosti. S poklesem teplot dochází také ke snížení nabíjecí schopnosti akumulátorů, a není je možné proto plně nabít.

6.2.5.2 Samovybití

K samovybití dochází u všech typů akumulátorů, nejedná se o výrobní vadu, ale o charakteristiku baterie. Jedná se o trvalý proces, kterému není možné zabránit. Je způsobené reakcí elektrod s elektrolytem, za uvolňování vodíku na záporné a kyslíku na kladné elektrodě.

Mezi dobíjecími akumulátory má olověná kyselina jednu z nejnižších ztrát samovybitím, ztrácí pouze cca 5% kapacity měsíčně. Tato hodnota však roste s vyšší koncentrací H_2SO_4 , rostoucí teplotou, stářím baterie a počtem cyklů. Rychle stoupá především s rostoucím počtem cyklů, to je způsobeno rozpouštěním antimonu při korozi mřížky kladné elektrody. K bezprostředně největšímu samovybití dochází ihned po nabití, poté se snižuje.



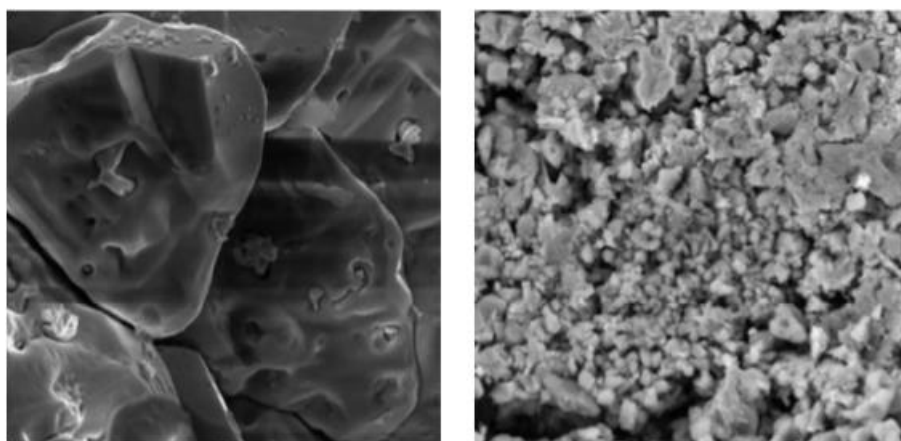
Obr. 6.3: Samovybíjení olověného akumulátoru při různých teplotách okolí [15]

6.2.5.3 Sulfatace

Při vybíjení dochází k reakci aktivní hmoty olověných elektrod se síranem elektrolytu za vzniku drobných krystalů síranu olovnatého ($PbSO_4$). Ten je ovšem za normálních okolností neškodný a při nabíjecím cyklu je převeden zpět na aktivní hmoty elektrod a síran se navrátí do elektrolytu.

Při ponechání baterie delší dobu ve vybitém nebo v plně nenabitém stavu dojde k přeměně amorfního síranu olovnatého na stabilní krystalický materiál, který se usadí na negativních deskách. Ten je na rozdíl od původního amfoterního síranu nevodičem a jeho krystaly se proto neúčastní chemické aktivity. Tyto pasivní krystaly vytváří na povrchu elektrody izolační vrstvu a brání tak přístupu elektrolytu k ještě aktivním vnitřním vrstvám elektrod, tuto pasivní vrstvu krystalů síranu olovnatého můžeme vidět na snímcích z mikroskopu na obrázku 6.4. To má za následek snížení kapacity akumulátoru, nárůst vnitřního odporu a s tím spojené snížení dodávaného proudu a napětí.

Existují dva typy sulfatace tzv. reverzibilní (měkká) sulfatace a permanentní (tvrdá sulfatace). K permanentní sulfataci dochází, pokud je akumulátor ponechán ve vybitém stavu po dobu týdnů až měsíců. Obnova kapacity takových akumulátorů již není možná a je třeba ji řešit zakoupením nového akumulátoru. V případě reverzibilní sulfatace je možné, pokud je akumulátor v čas servisován provést desulfataci inteligentní nabíječkou za pomoci krátkých pulsů značně vysokého napětí, které rozrušují krystaly síranu olovnatého.



Obr. 6.4: Snímky záporné aktivní hmoty. Sulfatace vlevo, zdravý stav vpravo [7]

6.3 Udržování olověného akumulátoru

Je třeba dbát o stav akumulátoru, neboť nesprávnou údržbou může dojít ke značnému zkrácení životnosti případně i ke zničení akumulátoru. Údržba spočívá zejména v pravidelných kontrolách hladiny elektrolytu. Při nabíjení dochází k elektrolyze elektrolytu na vodík a kyslík, který dále uniká do atmosféry. Při přebíjení plně nabitě baterie elektrolyza spotřebuje $0,336 \text{ cm}^3$ za každou Ah přebíjení. Elektrolyt nefunguje pouze jako vodič elektriny, ale také odvádí teplo z elektrod, které vzniká při nabíjení. Pokud elektroda není zcela zaplavena, je elektrochemicky aktivní pouze její zaplavená část. Tím dochází ke koncentraci tepla a následnému poškození elektrod. Ztráta vody může být zredukována instalací zařízení pro rekombinaci kyslíku a vodíku na každý článek baterie. V případě nedostatečné hladiny elektrolytu je třeba jej doplnit destilovanou vodou. Doplnění by mělo být provedeno po dobití a před zahájením vyrovnávacího nabíjení.

Po nabití je nutné provést kontrolu čistoty povrchu baterie a kontrolu přítomnosti tekutiny v nosiči. Při zjištění znečištění povrchu baterie a přítomnosti tekutiny v nosiči je nutné provést očištění a odsátí tekutiny z nosiče.

Jedna z nejškodlivějších podmínek je přehřívání zejména přes 55°C . Se zvyšující se teplotou dochází ke zvýšení koroze, rozpustnosti kovových částí a samovybíjení. Provozování za vysokých teplot vyžaduje vyšší vstup.

Baterie, které nejsou v provozu je třeba dobíjet nejméně každé 2 měsíce, v případě bezúdržbových alespoň každé 4 měsíce. Rovněž je vhodné dobít baterii před zimou a po zimě. Zcela vybitou baterii je třeba v co nejkratším čase dobít do stavu úplného nabití.

Jednou měsíčně na nabité baterii se při zapnutí, nabíjecím přístroji změří a zaznamená napětí všech článků a jejich hustota. Při zjištění rozdílu napětí při nabíjení mezi články větším než 0,1V je třeba provést vyrovnávací nabíjení [18].

Zamezit trvalému udržování baterie v nedostatečně nabitém stavu, provozem v nedostatečně nabitém stavu dochází k sulfataci, která výrazně snižuje kapacitu. Poškození vzniklé sulfatací není možné již napravit. Rovněž není možné obnovit kapacitu baterie provozované při nedostatku elektrolytu.

V případě prasklého článku je nutné co nejdříve článek vyměnit, v případě monobloku odvézt do opravy. Při prasklém článku hrozí riziko provozu při nedostatku elektrolytu.

Při nabíjení dochází k uvolňování kyslíku a vodíku ve výbušném poměru. Proto se nesmí manipulovat v blízkosti s otevřeným ohněm. Výbuch může vzniknout i při odpojení svorky od baterie nebo při špatném dotažení svorek.

Alespoň jednou ročně v souladu s normou ČSN EN 50272-3 (DIN VDE 0117) je nutné provést kvalifikovaným pracovníkem technickou prohlídku baterie včetně proměření izolačního odporu a očištění povrchu baterie. Kontrola izolačního odporu je provedena v souladu s normou ČSN 332610. Izolační odpor baterie nesmí být nižší než 50Ω na Volt jmenovitého napětí [18]. Nízký izolační odpor může vést k poškození elektroniky vozíku, zkrat baterie, požár a hrozí i nebezpečí úrazu.

Čistota baterie je velmi důležitá nejen kvůli vnějšímu vzhledu, ale zejména z důvodu bezpečnosti provozu, zábraně nehod a věcných škod, prodloužení životnosti baterie a zvýšení spolehlivosti provozu. Čištěním je nutné z důvodu zabezpečení potřebného izolačního stavu článků mezi sebou a mezi zemním spojením a mezi cizími vodivými částmi.

Při nabíjení nad napětím plynování dochází k úniku elektrolytu na povrch článků nebo víka bloků, dochází ke smíšení s nečistotami z okolí, které vytváří ve spojení s elektrolytem méně či více vodivou vrstvu a umožňují vznik tzv. plíživých proudů. Následkem toho je zvýšené a rozdílné samovybíjení jednotlivých článků nebo bloků baterií. Protékají-li vyšší plazivé proudy může dojít až ke vzniku jiskry a způsobit explozi výbušné směsi vznikající při nabíjení. Čištění baterie je třeba provádět ve speciálním

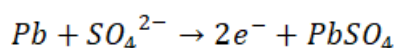
stanovišti, tak aby vznikající odpadová voda obsahující elektrolyt mohla být odvedena do speciálního zařízení na zpracování odpadové vody.

7 Možnosti a způsoby nabíjení, charakteristiky akumulátorů a nabíječů

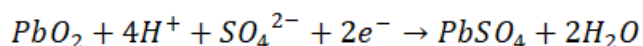
7.1 Nabíjení

Při procesu nabíjení je využíván stejnosměrný elektrický proud pro přeměnu aktivních chemikálií baterie do jejich vysokoenergetického, nabitého stavu. Nabíjení probíhá dle následujících rovnic:

Proces probíhající na anodě:

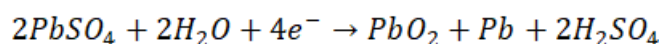


Proces probíhající na katodě:



Na kladné elektrodě (anodě), dochází při nabíjecím cyklu k rozkladu síranu olovnatého $PbSO_4$ na oxid olovičitý PbO_2 , na záporné elektrodě (katodě), dochází při nabíjení k přeměně síranu olovnatého na houbovitě olovo Pb a k obnově elektrolytu z roztoku s nízkou koncentrací kyseliny sírové na vyšší koncentraci.

Souhrnná reakce nabíjení vznikne kombinací předchozích dvou reakcí.



Vzhledem k tomu, že změna fáze z pevné na roztok je spojena se síranovým iontem, má nabíjení olovené baterie zvláštní difúzní aspekty a je velmi citlivé na teplotu. Pevné látky, které během nabíjení a vybíjení přechází v roztok jako ionty, jsou vysráženy jako jiná pevná sloučenina. Toto také způsobuje přerozdělení aktivního materiálu. Přeuspořádávání má tendenci tvořit krystalovou strukturu aktivního materiálu s méně defekty, což vede k menší chemické a elektrochemické aktivitě. Proto olovená baterie není tak reverzibilní fyzicky jako chemicky [19]. Fyzická degradace může být minimalizována správným nabíjením, vyřazené baterie mohou být velmi často obnoveny dlouhým, pomalým dobíjením, řádově 3-4 dny napětím 2-3A.

Olovený akumulátor může být dobíjen téměř jakoukoli hodnotou, která nevyvolá nadměrné plynování, přebíjení nebo vysoké teploty. Během počáteční fáze nabíjení je

baterie schopna absorbovat velmi vysoký proud, v nabitém stavu již existuje limit pro bezpečný proud. Bezpečný dobíjecí proud je definován ampér-hodinovým pravidlem,

$$I = A * e^{-t}$$

kde I je nabíjecí proud, A hodnota ampér-hodin vybitých z baterie a t je čas. Protože je zde značná rozmanitost baterií, existuje také řada nabíjecích režimů a výběr vhodného způsobu závisí na řadě hledisek, jako je typ a konstrukce baterie, provozní podmínky, čas dostupný pro nabíjení, počet článků nebo baterií, které je třeba nabíjet, a zařízení pro nabíjení.

Akumulátory v automobilech, ponorkách, jiných dopravních prostředcích je stejnosměrný proud poskytován generátorem, alternátorem, který je poháněn primárním motorem. Tyto zařízení mají napěťový a proudový omezovač, který brání v přebíjení. Pro standardní automobilové 12V baterie je napěťový limit v rozmezí 14.1-14.6V [8].

Ve většině aplikací mimo automobilový průmysl, dochází k dobíjení mimo systém, který baterii využívá. Stejnosměrný proud potřebný pro nabíjení se získává usměrněním střídavého proudu získaného ze sítě. Pro tento způsob dobíjení se používají nabíječe v podobě nástěnné jednotky, mobilní dobíjecí jednotky, podlahové jednotky. Novější nabíječe jsou vybaveny mikroprocesorovým ovládním, které snímá stav baterie, teplotu, napětí, nabíjecí proud, na základě zjištěných hodnot upravuje nabíjecí hodnoty.

7.2 Trvalé dobíjení

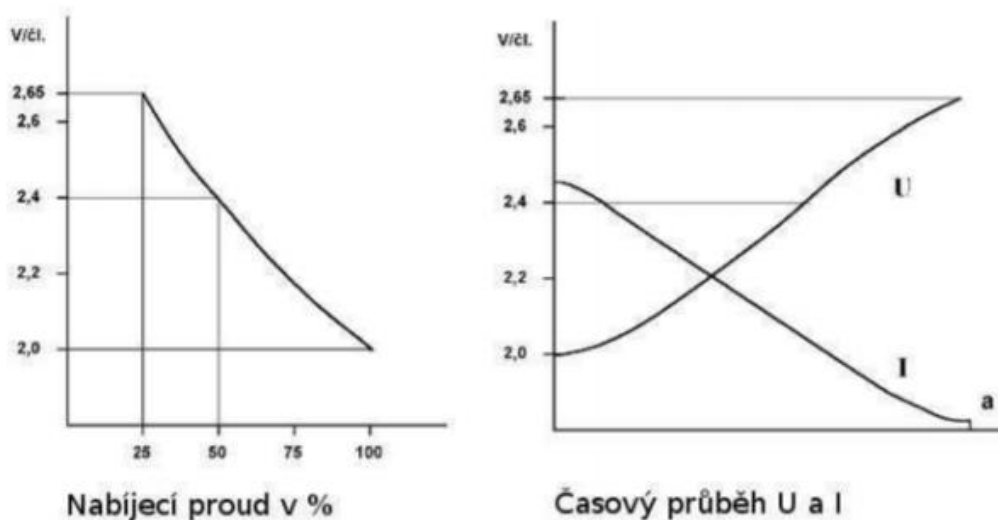
Nabíječka je trvale připojena k akumulátoru, pracuje se stálým napětím do 2,3V na článek a dosahuje velmi nízkých nabíjecích proudů, které nezpůsobují plynování článků. Tento režim nabíjení nahrazuje ztráty vzniklé samovybitím, při správně nastaveném konstantním napětí je možné baterii dobíjet po celou dobu její životnosti bez rizika poškození.

7.3 Základní nabíjecí charakteristiky akumulátorů a nabíječů

7.3.1 Nabíjecí charakteristika klesajícího proudu „W“

Typickým znakem pro charakteristiku „W“ je to, že dochází k poklesu nabíjecího proudu s rostoucím svorkovým napětím na akumulátoru. Této charakteristiky se dosahuje u většiny nabíječů tím, že se do sekundárního, nebo primárního obvodu transformátoru

zařazuje omezující impedance. Někdy se využívá vnitřních impedancí samotného transformátoru [20].



Obr. 7.1: Charakteristika nabíječe s klesajícím proudem (vpravo), charakteristika akumulátoru (vlevo) [21]

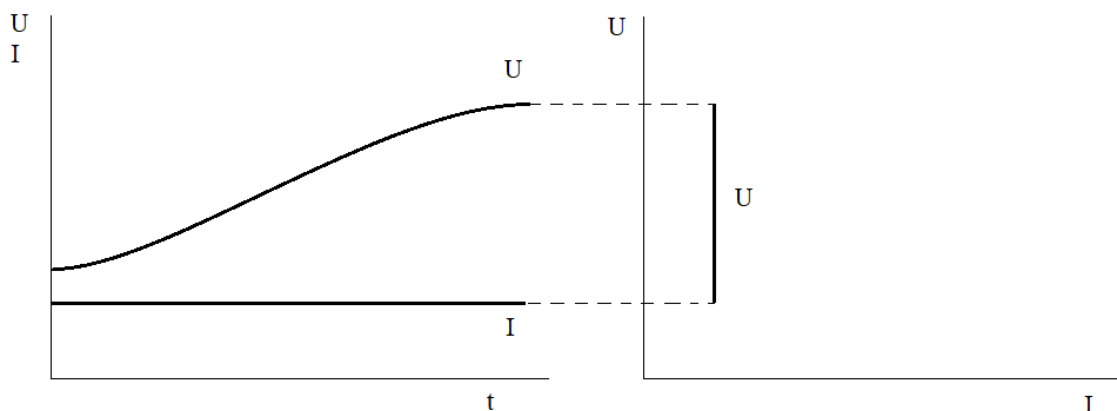
Nabíječe tohoto typu jsou vhodné zejména pro rychlé nabíjení. Je ovšem velmi složité zkonstruovat univerzální nabíječ typu W, různé druhy akumulátorů vyžadují různý sklon charakteristiky W. Sklon charakteristiky je dán poměrem počáteční a konečné hodnoty nabíjecího proudu.

Používání nabíječe s charakteristikou W vyžaduje větší dohled během procesu nabíjení. Nabíječ musí být vybaven kontrolním ampérmetrem. Obtížně se stanoví energie dodaná při nabíjení, nelze určit dobu potřebnou pro plné nabití. Nabíječ je značně proudově namáhán, pokud dojde k připojení poškozeného akumulátoru nebo při zkratu. Na toto je třeba myslet již při konstrukci nabíječe a vybavit jej chráničem, aby nedošlo k poškození transformátoru a ostatních částí. Nabíječ bývá doplněn o časový spínač, jímž je možné po uplynutí určité doby ukončit nabíjení, nebo přepnout na jinou charakteristiku.

Nabíječ s charakteristikou W se používá zejména z důvodu nižší ceny a jednoduchosti konstrukce pro nabíjení startovacích a trakčních akumulátorů. Hlavní nevýhodou těchto nabíječů je jejich závislost intenzity nabíjecího proudu na kolísání napětí sítě, tím dochází ke změnám v nabíjecí době.

7.3.2 Nabíjecí charakteristika konstantního proudu „I“

Od počátku do konce dochází k nabíjení neměnným proudem, dochází k nárůstu napětí akumulátoru. Konečná velikost napětí akumulátoru závisí na nabíjecím proudu, teplotě elektrolytu, stáří akumulátoru.



Obr. 7.2: Charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe s konstantním proudem (vpravo)

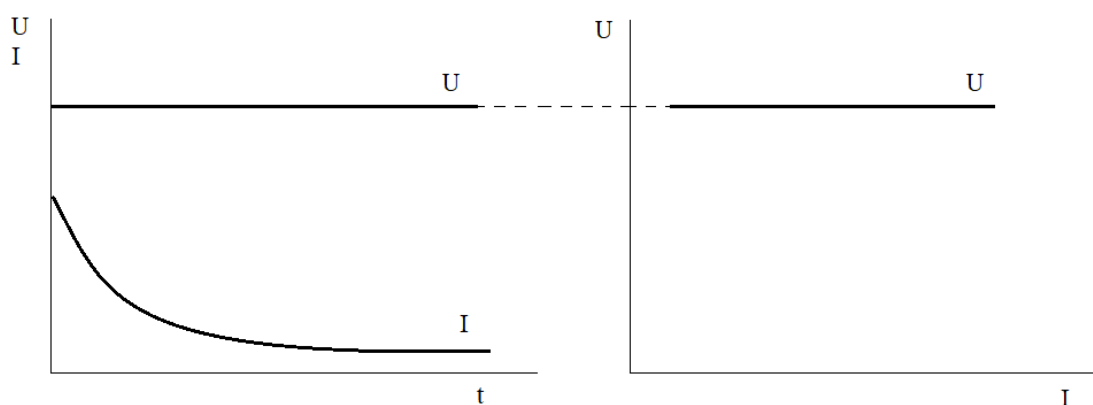
Nabíječ s charakteristikou I se používá zejména pro nabíjení malých olověných akumulátorů, nabíjení akumulátorů při kapacitních zkouškách, uvádění startovacích akumulátorů do činnosti, nabíjení akumulátorů z centrálního rozvodu stejnosměrného proudu.

Výhodou nabíjecí charakteristiky je, že obnova elektrického náboje probíhá lineárně s dobou nabíjení. To umožňuje jednodušší stanovení nabíjecího času a kontrolu dodaného náboje vynásobením nabíjecího proudu dobou nabíjení. Jednou z dalších výhod je značná zkratuvzdornost nabíječe. Při nabíjení článků nebo akumulátorů v sérii není třeba nastavovat nabíjecí proud připojíme-li nebo odpojíme-li akumulátor. Nevýhodou je delší doba nabíjení v porovnání s nabíječi pracujícími s charakteristikou U. Tuto nevýhodu je možné částečně odstranit tzv. dvojstupňovým nabíjením, kdy dochází k přepínání nabíjecího proudu. Nevýhodou této charakteristiky je přetěžování elektrod při nárůstu napětí nad 2,4V na článek, při těchto hodnotách napětí začíná docházet ke značnému plynování elektrod. Vyvíjené plyny vytrhávají částice kladné aktivní hmoty, ta ztrácí soudržnost a dochází ke zvýšení rozkladu vody v elektrolytu.

Nabíjení je ukončeno manuálně, po uplynutí nastaveného času, dosažení stanovené hladiny napětí nebo po dodání požadovaného počtu Ah,

7.3.3 Nabíjecí charakteristika konstantního napětí „U“

Nabíjecí charakteristika U představuje nabíjení akumulátorů na konstantní napětí, které je udržováno s maximální odchylkou 1%. Z počátku dochází k nabíjení vysokým proudem, který rychle klesá. Pokles zpomaluje, až se nakonec ustálí na hodnotě odpovídající konstantnímu napětí. Velikost konstantního napětí má být nastavena na plynovací napětí nabíjeného akumulátoru.



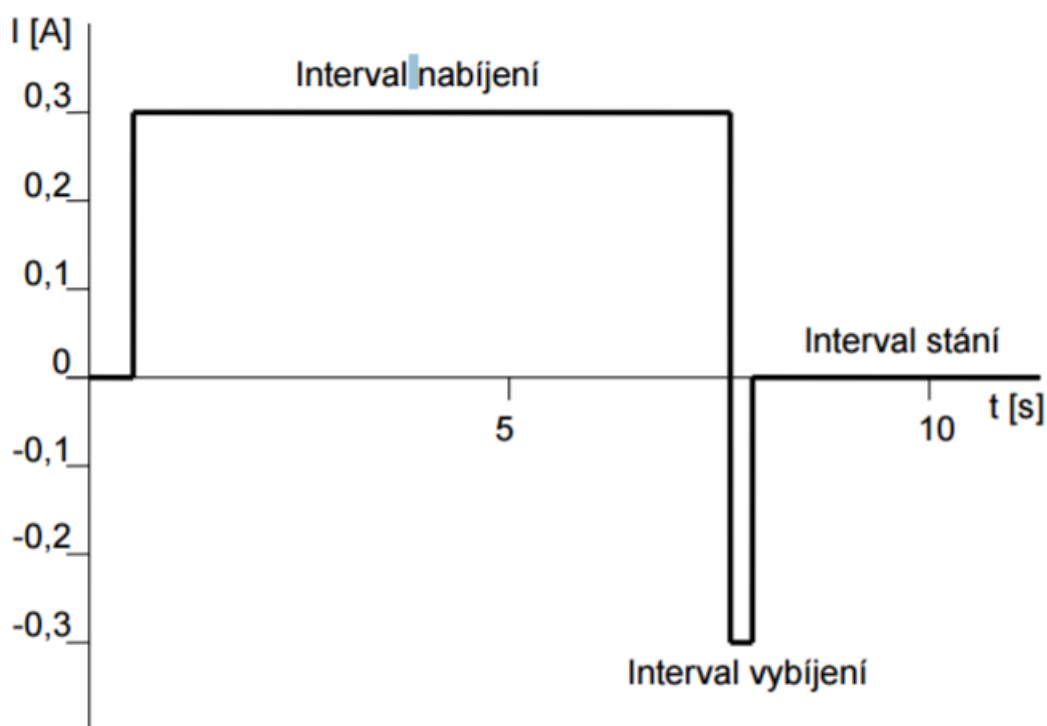
Obr. 7.3: Charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe s konstantním napětím (vpravo)

Tento typ nabíječů umožňuje nabíjení paralelně zapojených akumulátorů o stejném svorkovém napětí. Počáteční nabíjecí proud nesmí přesáhnout $1,2 Q_{\check{c}}$, kde $Q_{\check{c}}$ je kapacita akumulátoru uváděná výrobcem. Konečný nabíjecí proud je nižší než $0,002 Q_{\check{c}}$, postačuje pouze pro krytí ztráty vznikající samovybíjením akumulátoru. Doba potřebná k plnému nabití činí 10 až 15 hodin. Charakteristika U umožňuje rychlé dobití akumulátoru na 80% kapacity za 1 až 1,5 hodiny. Díky nízkému konečnému dobíjecímu proudu je možné dlouhodobé přebíjení až 48 hodin.

Výhodou nabíjecí charakteristiky U je vysoká obnova elektrického náboje na počátku nabíjení. Nevýhodou je nutnost použít výkonné nabíječe pro velké počáteční nabíjecí proudy, kdy tento výkon není ke konci nabíjení využitý. Pro omezení počátečních velkých nabíjecích proudů se používá kombinace nabíjecích charakteristik [21]. Je nutno dávat pozor a jistit nabíječ proti vysokým proudům, které mohou vzniknout při zkratu na svorkách, nebo připojení vadného akumulátoru.

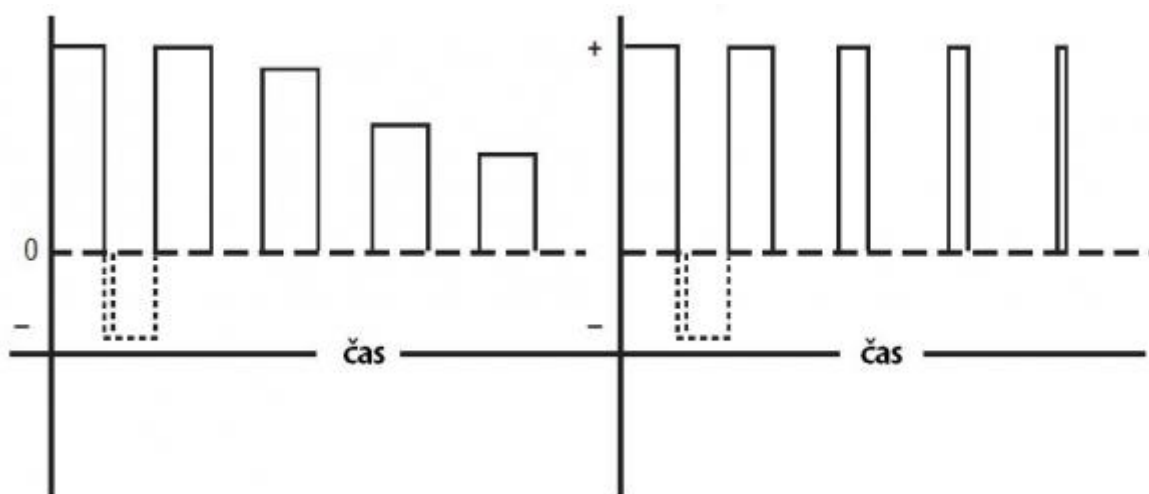
7.3.4 Pulzní nabíjení

V současné době se jedná o hojně využívanou charakteristiku především z důvodu nižších nabíjecích časů. Čas dobíjení je možné snížit zvýšením nabíjecího proudu, to má však za následek rychlý nárůst napětí a s tím spojené plynování. To vede ke snížení celkové kapacity a životnosti akumulátoru. Z důvodu zrychlení nabíjení při zachování životnosti akumulátoru se využívá pulzní nabíjení, které se skládá z nabíjecího pulzu, intervalu stání. Někteří výrobci používají krátký záporný pulz (interval vybíjení), který pomáhá promíchat elektrolyt.



Obr. 7.4: Průběh pulzního nabíjení [21]

Pulzní nabíjecí proud není v průběhu celého nabíjecí cyklu stejný, po dosažení stanovené podmínky dojde k úpravě parametrů nabíjení. Typická podmínka pro úpravu parametrů nabíjení je dodaný náboj, vzestup napětí na určitou hodnotu nebo nárůst teploty. Úprava spočívá ve zkracování nabíjecích pulzů a snižování amplitudy nabíjecího proudu. Tím dochází ke snížení teploty akumulátoru, napětí akumulátoru a s tím spojeným plynováním. To vede ke zvýšení životnosti akumulátoru.



Obr. 7.5: Průběh proudu při pulzním nabíjení se snižováním amplitudy (vlevo), se zkracováním nabíjecího intervalu (vpravo) [22]

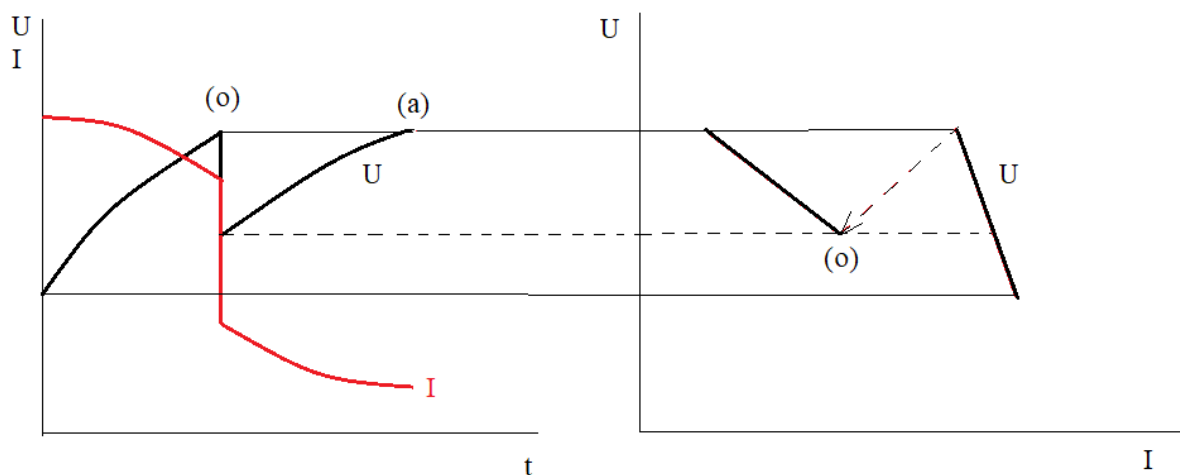
Přednostmi pulsní nabíječky jsou: nižší investiční náklady (není potřeba vzduchovací pumpa), není nutné provádět úpravy na baterii, lze užít standardní zásuvky a zástrčky jako při nabíjení standardní nabíječkou, nižší spotřeba energie v důsledku nižšího přebíjení baterie, snížení údržbovosti baterie v důsledku nižšího ohřevu baterie a tím i nižší spotřebou vody.

7.4 Pokročilé nabíjecí charakteristiky

Jedná se o kombinaci základních nabíjecích charakteristik tak, aby zajistily optimální nabíjení a dále trvalé dobíjení.

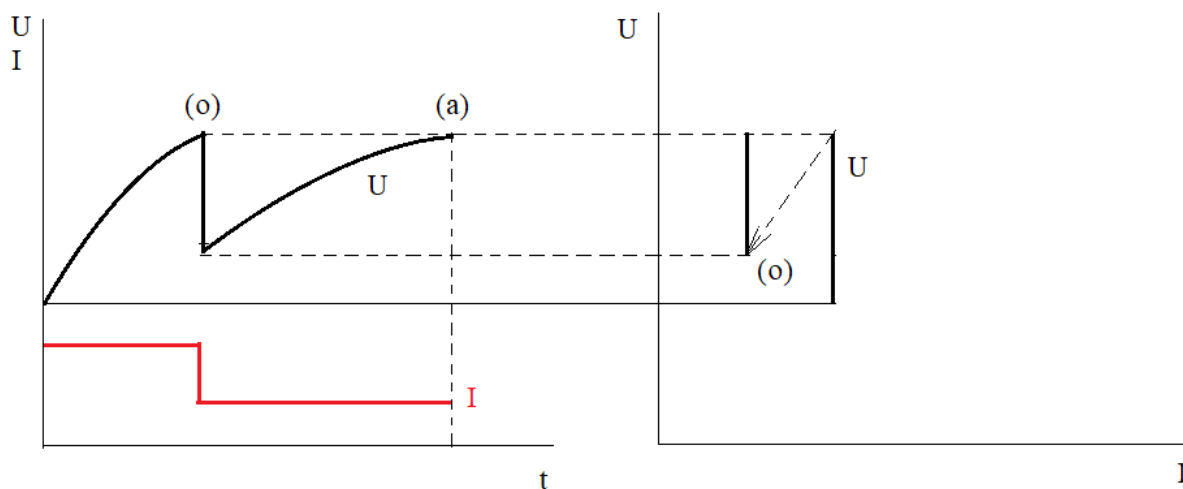
7.4.1 Nabíjecí charakteristika „WoW“

Nabíjecí charakteristika WoW je tvořena dvěma stupni, kde počáteční proud je vyšší, než by tomu bylo u samotné charakteristiky W. Při nabíjení proud plynule klesá až do dosažení hodnoty plynovacího napětí, kde dojde ke skokovému snížení proudu a dále v průběhu nabíjení plynule klesá. Proces nabíjení je ukončen při dodání stanoveného náboje.



Obr. 7.6: Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe *WoW* (vpravo)

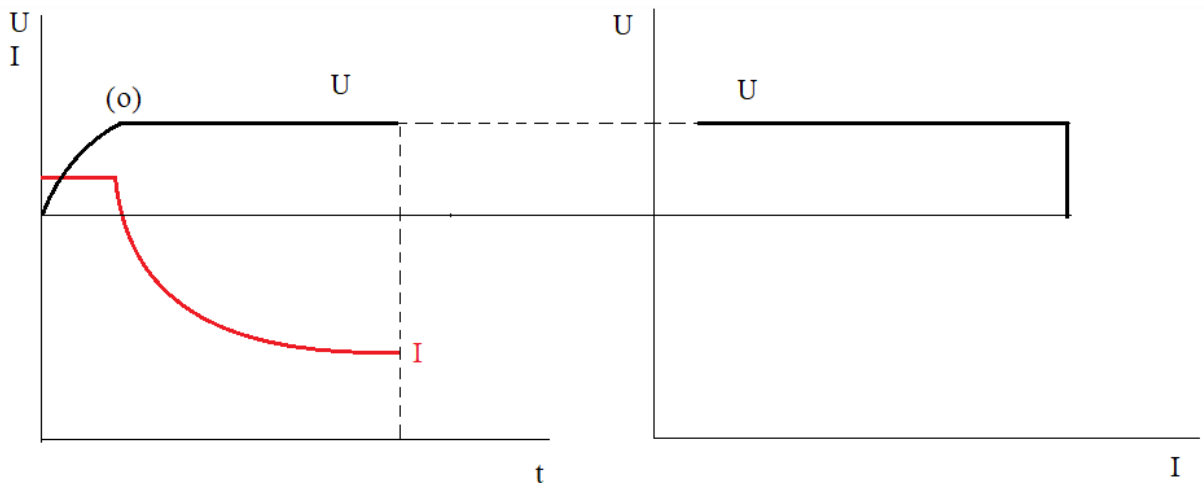
7.4.2 Nabíjecí charakteristika „IoI“



Obr. 7.7: Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe *IoI* (vpravo)

7.4.3 Nabíjecí charakteristika „IU“

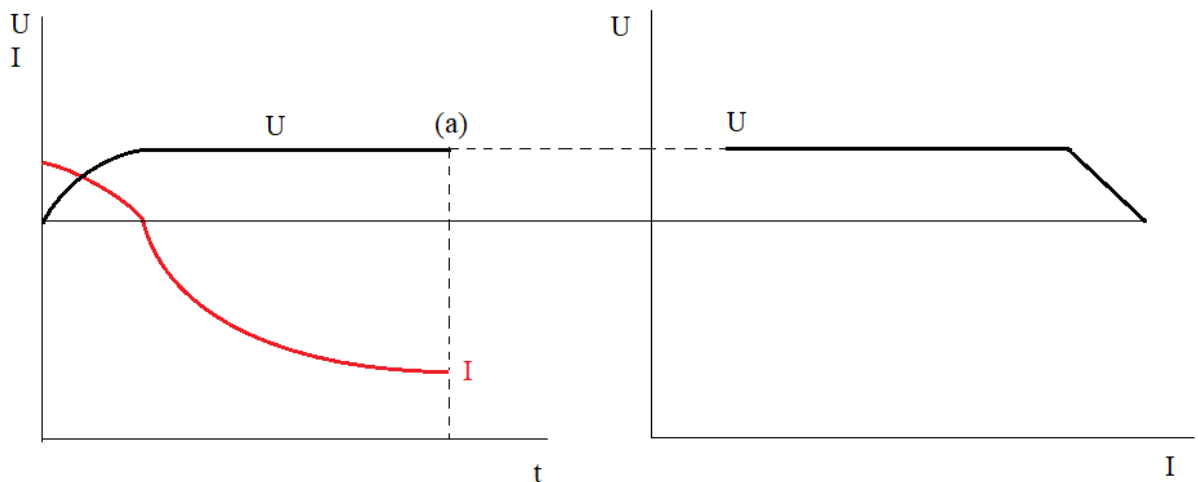
V první fázi je akumulátor nabíjen vysokým konstantním proudem, poté dojde k přepnutí na charakteristiku konstantního plynovacího napětí. Tato charakteristika umožňuje dobít více akumulátorů o stejné kapacitě zapojených paralelně, nezávisle na stupni vybití.



Obr. 7.8: Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe IU (vpravo)

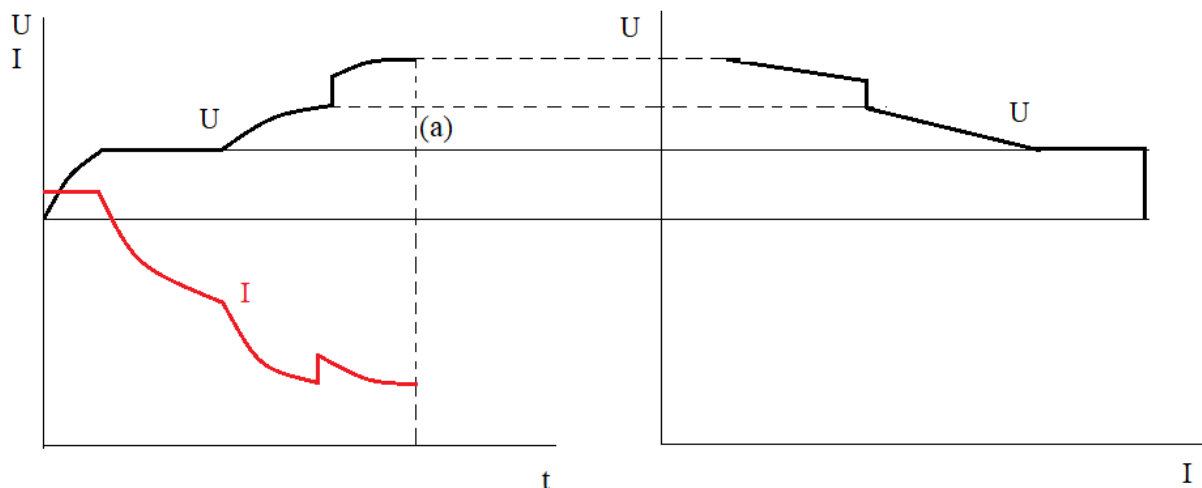
7.4.4 Nabíjecí charakteristika „IUI“

Jedná se o novou nabíjecí charakteristiku, používanou zejména pro rychlé nabíjení standardních zaplavených olověných článků. Z počátku dochází k dobíjení konstantním proudem až do doby, než napětí dosáhne hodnoty plynovacího napětí. Po dosažení této hodnoty dojde k přepnutí nabíječky do fáze konstantního napětí. Začne docházet k poklesu nabíjecího proudu až do stanovené úrovně, kde dojde opět k přepnutí do charakteristiky konstantního proudu. Poslední fáze se používá k vyrovnání nabíjení jednotlivých článků v baterii, čímž se maximalizuje životnost baterie.



Obr. 7.9: Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika akumulátoru IUI (vpravo)

7.4.5 Nabíjecí charakteristika „IUW₁W₂“



Obr. 7.10: Nabíjecí charakteristika akumulátoru (vlevo), charakteristika nabíječe IUW₁W₂ (vpravo)

8 Ekonomické zhodnocení

Z ekonomického hlediska je třeba zvážit investici do inteligentního nabíječe. Ten je zpravidla o něco dražší, ale umožňuje upravování nabíjecích charakteristik podle informací získaných z baterie. Mnohé nabízí i funkci desulfatace nebo vyrovnávacího nabíjení. Správnou volbou nabíječe a nabíjecí charakteristikou je možné značně snížit čas nabíjení a prodloužit životnost baterie. Tím dojde ke snížení prostojů při nabíjení akumulátorů, zejména pak u elektrovozidel. Hlavní úspora však spočívá v prodloužené životnosti akumulátoru, jehož obnova a prostoje způsobené nedostatečnou kapacitou a častým dobíjením jsou velmi často finančně mnohem nákladnější než prvotní investice do inteligentního nabíječe.

9 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo shrnutí a rozbor základního rozdělení a doporučení pro provoz, údržbu a nabíjení olověných akumulátorů. Dále z ekonomického hlediska zhodnotit vliv volby nabíječe na životnost akumulátoru.

V úvodní části se práce věnuje historii vzniku olověných akumulátorů, jejich vývoji, základnímu rozdělení a jejich konstrukci. Ačkoliv se na trhu začíná objevovat vysoká konkurence, pozice olověných akumulátorů v oblasti startovacích akumulátorů není ohrožena, neboť zatím neexistuje adekvátní náhrada. Pokrokem ve vývoji olověných akumulátorů je tzv. UltraBattery, která má velmi slibnou budoucnost v oblasti hybridních automobilů a elektromobilů.

Olověný akumulátor je značně náchylný na mechanické poškození (otřesy, rázy) tak i na poškození vlivem vysoké teploty při přebíjení. Z tohoto důvodu je vhodné zvážit koupi inteligentní automatické nabíječky, která upravuje nabíjecí charakteristiky podle aktuálního stavu akumulátoru. Pořizovací cena je vyšší než u základních typů nabíječek, z dlouhodobého hlediska se však tato investice vyplatí. Promítne se v prodloužené životnosti akumulátorů a snížení nákladů, které vznikají při prostojích z důvodu nedostatečné kapacity akumulátoru.

Zvláště výhodné se jeví využití pulzního nabíjení, které nám umožňuje zvýšit rychlost nabíjení bez poškození akumulátoru zvýšenou teplotou. Při této metodě nabíjení dochází taktéž k redukci generace plynů a snížení ztrát vody, to se pozitivně promítne zejména v čistotě akumulátoru a snížení intervalu dolévání elektrolytu.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] LAMBERT, Dan. *Lead Acid Battery Lifecycle: Terms and Definitions* [online]. Schneider Electric, , 6 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/330000/FA330874/en_US/APC_WHITE_PAPER%20230.pdf
- [2] Lead plates. *Electronics Tutorials* [online]. 2014 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://electronicspani.com/lead-acid-battery/>
- [3] Gaston Planté. *Goodreads* [online]. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://www.goodreads.com/author/show/5992298.Gaston_Plant_
- [4] Lead-acid-rechargeable-battery-1859. *Computer Stories* [online]. 2015 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://computerstories.net/the-evolution-of-rechargeable-batteries-16213/lead-acid-rechargeable-battery-1859>
- [5] Kurzweil, P. Gaston Planté and his invention of the lead–acid battery—The genesis of the first practical rechargeable battery. 195. 2010. *Journal of Power Sources*.
- [6] RAND, David. *The history of the lead acid battery has been one of constant improve-ments — very rarely has it been in huge leaps forward but mostly it’s been slow and steady modifications. Or that was until the VRLA battery arrived and the challenges it threw up.* [online]. 2016, **2016**, 1 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.batteriesinternational.com/history-of-lead/>
- [7] BILKO, Radek. *PŘÍČINY PŘEDČASNÉ ZTRÁTY KAPACITY OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ PRACUJÍCÍCH V PSOC REŽIMU HYBRIDNÍCH ELEKTRICKÝCH VOZIDEL*. Brno, 2014. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
- [8] REDDY, Thomas B. a David. LINDEN. *Linden's handbook of batteries*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162421-3.
- [9] *Global Lead-Acid Battery Market Development Status* [online]. , 1 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://www.systems-sunlight.com/blog/global-lead-acid-battery-market-development-status/>
- [10] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-865-3403-0.

- [11] *T 3 Spouštěcí akumulátory, funkce, druhy, vlastnosti, zásady údržby a péče o akumulátory* [online]. , 1 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/03.html>
- [12] VONDRÁK, Michal. *ANALÝZA TEPLŮTNÍCH DĚJŮ UVNITŘ ČLÁNKU OLOVĚNÉHO AKUMULÁTORU V REŽIMU KYSLÍKOVÉHO CYKLU* [online]. Brno, 2013 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] VLASÁK, Zdeněk. *Olověné automobilové akumulátory - Konstrukce* [online]. 2002 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.zvlasak.net/baterie_s.pdf
- [14] Hermetické akumulátory - Definice. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. Slaný: BATTEX, spol [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/definice>
- [15] *Battery University* [online]. Richmond: Cadex Electronics, 2017 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://batteryuniversity.com>
- [16] CENEK, Miroslav. *Akumulátory a baterie*. Vyd. 1. Praha: STRO.M, 1996. 149 s. Knižnice Elektro, sv. 30.
- [17] PAVLŮ, Michal. *Degradační mechanismy u olověných akumulátorů* [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/11243/Pavlu_DP_final_akumulatory.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] HOLEČEK, František. *Školení obsluhy nabíjecí stanice Linde Material Handling s.r.o.* 2014
- [19] E. Ritchie, International Lead-Zinc Research Organization Project LE-82-84, Final Rep., New York, Dec 1971
- [20] *Nabíječky a nabíjení*. 3. upr. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-860-5661-9.
- [21] SYGERYČ, Daniel. *Optimalizace pulzního nabíjecího režimu olověného akumulátoru*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [22] Obnova olověného akumulátoru pulzním nabíjením. *Hw.cz* [online]. 2012 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/obnova-oloveneho-akumulatoru-pulznim-nabijenim.html>