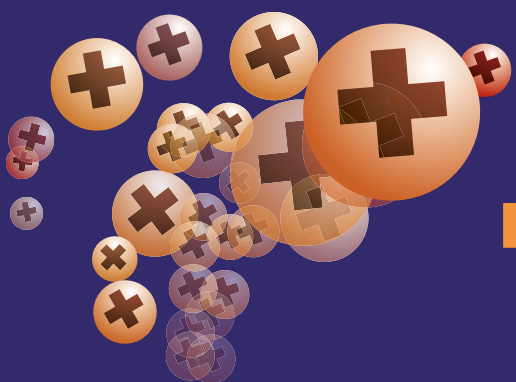


od principu k praxi



akumulátor

Naprostá většina členů civilizované společnosti běžně přichází do styku s elektrickou energií nashromážděnou v elektrochemickém zařízení – akumulátoru. Startování spalovacích motorů, energetické zdroje pro pohon nezávislých elektrických vozidel, napájecí stanice a záložní zdroje, to jsou oblasti, v nichž je hmotnost a objem akumulátorů nejdříve znát. Co do počtu kusů zase vyniká záplava malých akumulátorů pro přenosné a mobilní komunikační přístroje a zařízení výpočetní techniky.

Tato kniha nabízí čtenáři k seznámení a pochopení témat, na nichž stojí oblast akumulátorů: princip funkce, technologické a výrobní aspekty, užité vlastnosti i otázky likvidace na konci technického života.

Rozdělení těchto zdrojů následuje po výčtu základních pojmů z oboru. Kniha pokračuje dvěma rozsáhlými kapitolami o zdrojích, jejichž hmotnost a objem v praxi dominují. Jde o olovené akumulátory, které najdeme v každém automobilu jako startovací baterii, a alkalické akumulátory (převážně nikl-kadmiové), které pracují s elektrolytem na bázi hydroxidu a bývají součástí vybavy kolejových vozidel. Následují akumulátory dalších elektrochemických soustav, část shrnující stav standardizace elektrochemických zdrojů proudu a pasáž o nabíjení a nabíječích akumulátorů. Jsou popsány způsoby sledování okamžitého stavu baterií během jejich provozu. Pro životní prostředí je významná kapitola o zpětném odběru a recyklaci použitých akumulátorů. Určitý obraz o některých možnostech akumulátorů dává poslední kapitola, v níž je popsáno několik příkladů použití v běžných i extrémních podmínkách.

Kniha je určena všem, kdo provozují, skladují a udržují akumulátorové baterie, ať již profesionálně nebo v rámci osobních aktivit, především řidičům motorových vozidel, provozovatelům vozidel nezávislé elektrické trakce, staničních akumulátorů i nepřehledným řadám těch, koho zajímá podstata akumulátorového napájení mnoha elektrických a elektronických přístrojů denní potřeby.

Zpracoval tým autorů:

Doc. RNDr. Miroslav Cenek, CSc. (7.7, 10)

RNDr. Jiří Jindra, CSc. (1, 2.1, 5)

Miroslav Jon (7)

Prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc. (8)

Josef Kozumplík (2.2, 3, 4, 6)

Jan Vrba (9)

Vydavatelství děkuje za spolupráci firmám, které svou podporou přispěly k vydání této knihy:

AKUMA a. s.

AVACOM s. r. o.

Banner Baterie ČR s. r. o.

DK group a. s.

ECOBAT s. r. o.

EuroBattery s. r. o.

EZAMO s. r. o.

IBG Praha s. r. o.

Kovohutě Příbram a. s.

Obsah

1. Základní pojmy	11
2. Rozdělení chemických zdrojů proudu	17
2.1. Rozdělení podle principu	18
2.1.1. Primární články	18
2.1.2. Sekundární články	19
2.1.3. Palivové články	19
2.2. Rozdělení podle dalších hledisek	21
2.2.1. Články, baterie a jejich spojování	21
2.2.3. Rozdělení podle hlavního použití	22
2.2.4. Dělení podle stupně uzavření článkových nádob	23
2.2.5. Dělení podle systému nabíjení	23
2.2.6. Dělení podle použitého elektrolytu a pracovní teploty	24
3. Olověné (kyselé) akumulátory	25
3.1. Základní elektrochemické reakce	26
3.2. Fyzikální změny probíhající v akumulátorech	28
3.3. Napětí olověného akumulátoru	30
3.3.1. Teoretické hodnoty	30
3.3.2. Hodnoty používané v praxi	31
3.4. Kapacita olověného akumulátoru	32
3.4.1. Vliv vybíjecího proudu	32
3.4.2. Vliv teploty	32
3.5. Účinnost akumulace elektrické energie	33
3.5.1. Ampérhodinová (proudová) účinnost	33
3.5.2. Watthodinová (energetická) účinnost	33
3.6. Specifická charakteristika	34
3.7. Životnost (doba užívání) akumulátorů	34
3.8. Konstrukce olověných akumulátorů	35
3.8.1. Elektrody	36
3.8.1.1. Kladné elektrody	36
3.8.1.2. Záporné elektrody	39
3.8.1.3. Jiné konstrukce elektrod	39
3.8.2. Separátory (oddělovače) elektrod	41
3.8.3. Akumulátorové nádoby	42
3.8.4. Víka článků a monobloků	42
3.8.5. Zátky a ventily	43

3.8.6.	Elektrolyt	47
3.8.7.	Voda pro akumulátory	49
3.8.8.	Akumulátory se zaplavenými elektrodami	50
3.8.9.	Akumulátory řízené ventilem	50
3.9.	Motocyklové akumulátory	51
3.10.	Startovací akumulátory	53
3.10.1.	Klasické konstrukce	54
3.10.2.	Jiné konstrukce startovacích akumulátorů	57
3.10.3.	Nákup nové baterie	57
3.10.4.	Uskladňování suchých baterií	57
3.10.5.	Uvedení baterie do činnosti	57
3.10.6.	Znaky plného nabití baterie	58
3.10.7.	Montáž baterie	58
3.10.8.	Provoz startovacích akumulátorů	58
3.10.9.	Kontrola nabíjení baterie ve vozidle	59
3.10.10.	Vliv teploty na provoz autobaterií	60
3.10.11.	Údržba startovacích baterií	61
3.11.	Dopravní (trakční) akumulátory	62
3.11.1.	Provoz a údržba trakčních akumulátorů	65
3.12.	Staniční akumulátory	69
3.12.1.	Akumulátory s velkopovrchovými kladnými elektrodami	70
3.12.2.	Akumulátory s trubkovými kladnými elektrodami	71
3.12.3.	Akumulátory s mřížkovými kladnými elektrodami typu OGi	73
3.12.4.	Akumulátory s tyčkovými kladnými elektrodami typu Vb	73
3.12.5.	Ventilem řízené staniční akumulátory	73
3.12.6.	Akumulátory pro fotovoltaické a větrné zdroje proudu	75
3.12.7.	Uskladnění staničních akumulátorů	77
3.12.8.	Montáž staničních baterií	79
3.12.9.	Uvádění staničních baterií do činnosti	80
3.13.	Znaky plného nabití olověného akumulátoru	82
3.13.1.	U akumulátorů se zaplavenými elektrodami a v cyklickém provozu	82
3.13.2.	U akumulátorů se zaplavenými elektrodami v provozu trvalého dobíjení	82
3.14.	Provoz olověných akumulátorů	83
3.14.1.	Bateriový provoz	83
3.14.2.	Paralelní provoz	83
3.14.3.	Přepínací provoz	84
3.14.4.	Měnitelný provoz	84
3.15.	Nabíjení a trvalé dobíjení	84
3.15.1.	Nabíjení	84
3.15.2.	Trvalé dobíjení	85
3.15.3.	Nabíjecí charakteristiky	85
3.16.	Údržba olověných akumulátorů	87
3.16.1.	Doplňování akumulátorů vodou	88
3.16.2.	Čištění a konzervace	88
3.17.	Provozní závady olověných akumulátorů	89
3.17.1.	Přebíjení	89
3.17.2.	Nabíjení velkými proudy	89
3.17.3.	Neúplné nabíjení	90
3.17.4.	Hluboké vybití	90

3.17.5.	Sulfatace	90
3.17.6.	Nesprávná hustota elektrolytu	91
3.17.7.	Nesprávná výška hladiny elektrolytu	92
3.17.8.	Vysoké samovybíjení	93
3.17.9.	Přepólování akumulátorů	93
3.17.10.	Zkratky	94
3.17.11.	Vliv vysokých a nízkých teplot	94
3.17.12.	Mechanická poškození	96
3.17.13.	Zkrácení životnosti olovených akumulátorů	97
3.18.	Neutralizace kyseliny a elektrolytu akumulátorů	99
3.19.	Výpočty a měření na olovených akumulátorech	100
3.19.1.	Výpočet baterie podle zadaných parametrů	100
3.19.2.	Stanovení stupně nabití (vybití) oloveného akumulátoru	101
3.19.3.	Kapacitní zkoušky akumulátorů	102
3.19.4.	Výpočet vybíjecího odporu pro kapacitní zkoušky	104
3.19.5.	Výpočet zkratového proudu akumulátorů	104
3.19.6.	Výpočet větrání prostor s akumulátory	106
4.	Alkalické akumulátory	111
4.1.	Akumulátory nikl-kadmiové	113
4.1.1.	Základní elektrochemické reakce	114
4.1.2.	Konstrukce elektrod	116
4.1.3.	Separátory (oddělovače) elektrod	120
4.1.4.	Akumulátorové nádoby a nosiče	120
4.1.5.	Zátky a ventily	121
4.1.6.	Pólové vývody a spojky	122
4.1.7.	Příprava elektrolytu	122
4.1.8.	Provoz Ni-Cd akumulátorů uzavřené konstrukce (se zaplavenými elektrodami)	125
4.1.9.	Údržba akumulátorů	133
4.1.10.	Nejčastější závady a jejich odstranění	135
4.1.11.	Porovnání základních vlastností olovených a nikl-kadmiových akumulátorů	137
4.1.12.	Plynotěsné Ni-Cd akumulátory	139
4.2.	Akumulátory nikl-železné	148
4.3.	Akumulátory stříbro-zinkové	149
4.4.	Alkalické primární (burelové) dobíjitelné články	153
4.5.	Bezpečnost při práci s alkalickými akumulátory	154
5.	Další druhy akumulátorů	155
5.1.	Systém nikl-hydrid kovu	156
5.1.1.	Konstrukce uzavřených článků Ni-MH	157
5.1.2.	Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky	158
5.1.3.	Metody nabíjení	158
5.1.4.	Doporučené teploty pro provozování článků	158
5.1.5.	Obchodně dostupné akumulátory Ni-MH	160
5.2.	Systém nikl-zinek	163
5.2.1.	Problémy článků Ni-Zn	164
5.2.2.	Elektrody	166
5.2.3.	Separace	166
5.2.4.	Elektrolyt	166

5.2.5.	Realizace soustavy Ni-Zn	166
5.3.	Soustava Li-ion	168
5.3.1.	Konstrukce článků	170
5.3.1.1.	Elektrody	170
5.3.1.2.	Separace	171
5.3.1.3.	Elektrolyt	171
5.3.2.	Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky článků	171
5.3.3.	Obchodně dostupné baterie	171
5.3.3.1.	Články SAFT	173
5.3.3.2.	Články VARTA	173
5.4.	Soustava vzduch-zinek	174
5.5.	Soustava brom-zinek	174
5.6.	Soustava síra-sodík	174
5.7.	Soustava sodík-chlorid nikelnatý	175
6.	Normy a předpisy	177
6.1.	Technické normy	178
6.2.	Závaznost technických norem	179
6.3.	Posuzování shody	179
6.4.	Ostatní právní předpisy	179
6.5.	Bezpečnost, ochrana zdraví	181
6.6.	Odborná způsobilost v elektrotechnice	182
6.7.	Zacházení s malými elektrochemickými zdroji proudu	182
6.8.	Hledisko ochrany životního prostředí	183
7.	Nabíjení a nabíječe	185
7.1.	Rychlost nabití	186
7.2.	Energetická účinnost	187
7.3.	Korekce nabíjení a teploty	187
7.4.	Nabíjecí charakteristiky	188
7.4.1.	Nabíjení podle charakteristiky I, popř. Ia.	189
7.4.2.	Nabíjení podle charakteristiky W, popř. Wa (obr. 7.3a a 7.3b)	189
7.4.3.	Nabíjení podle charakteristiky WoWa a WoW (obr. 7.4a a 7.4b)	189
7.4.4.	Nabíjení podle charakteristiky U	189
7.4.5.	Nabíjení podle charakteristiky IU nebo WU	190
7.4.6.	Nabíjení podle charakteristiky IUW	191
7.4.7.	Nabíjení podle charakteristiky IUa (obr. 7.5a a 7.5b)	191
7.4.8.	Nabíjení podle charakteristiky IU0U – nabíjení staničních baterií	192
7.5.	Nabíječe a jejich technické vlastnosti	192
7.6.	Rychlé nabíjení	194
7.6.1.	Podstata rychlého nabíjení	194
7.6.2.	Nabíječe pro rychlé nabíjení	195
7.6.3.	Technické a uživatelské vlastnosti řízených rychlonabíječů	198
7.7.	Rychlé nabíjení akumulátorů elektrických vozidel	198
7.7.1.	Specifika napájení pohonu elektrických vozidel	198
7.7.2.	Příznivý vliv rychlého nabíjení na akumulátorové baterie	199
7.8.	Nabíjecí stanice	201
7.9.	Amatérská konstrukce nabíječe	203
7.9.1.	Činnost a konstrukce nabíječe	204

7.9.2.	Několik rad pro stavbu nabíječe	205
7.9.3.	Postup připojení nabíječe	206
7.9.4.	Chyby při nabíjení	207
7.9.5.	Důležitá upozornění	207
8.	Monitorování stavu akumulátorových baterií elektrických vozidel	209
8.1.	Monitorované veličiny	211
8.2.	Stanovení kapacity měřením prošlého náboje	212
8.3.	Stanovení kapacity akumulátoru měřením napětí a korekcí vnitřního odporu	213
8.4.	Sběr dat a digitální komunikace s okolím	215
8.4.1.	Komunikace mezi univerzálním monitorovacím zařízením a PC	216
8.4.2.	Komunikace s inteligentním nabíjecím zařízením	216
8.4.3.	Komunikace s centrálním podnikovým informačním systémem	216
8.5.	Závěr	217
9.	Sběr a recyklace použitých akumulátorů	219
9.1.	Legislativa	220
9.1.1.	Legislativa EU	220
9.1.1.	Legislativa ČR	221
9.2.	Organizace sběru akumulátorů	223
9.2.1.	Organizace sběru olověných akumulátorů v ČR	224
9.2.2.	Organizace sběru průmyslových niklkadmiových akumulátorů v ČR	224
9.2.3.	Organizace sběru přenosných akumulátorů v ČR	225
9.3.	Recyklace akumulátorů	228
9.3.1.	Recyklace olověných akumulátorů	228
9.3.2.	Recyklace průmyslových niklkadmiových akumulátorů	230
9.3.3.	Recyklace přenosných akumulátorů	231
10.	Příklady dlouhodobé aplikace akumulátorů	233
10.1.	Ni-Cd články typu KPH 80 provozované v námořní jachtě NIKÉ II	235
10.1.1.	Provozní podmínky hodnocených Ni-Cd článků	235
10.1.2.	Dosažené výsledky	235
10.2.	Ni-Cd akumulátory typu KPL 48 P v námořní kajutové plachetnici VIKI I	237
10.2.1.	Specifikace plavby a provozu Ni-Cd akumulátorů	237
10.2.2.	Dosažené výsledky	237
10.3.	Provoz soustavy větrná elektrárna – Ni-Cd baterie na Nelsonově ostr. v Antarktidě	238
10.3.1.	Podmínky provozu Ni-Cd akumulátorů	238
10.3.2.	Dosažené výsledky	238
10.4.	Použití Ni-Cd akumulátorů při spouštění dieselaagregátu	239
10.5.	Ověření provozu Ni-Cd akumulátorů typu KPM 90 v elektrických vozících určených pro invalidní občany	240
10.5.1.	Provozní podmínky	240
10.5.2.	Dosažené výsledky	241
10.6.	Ni-Cd baterie jako zdroj pro trvalé napájení elektronického zařízení	242
10.6.1.	Provozní podmínky ověřovaných Ni-Cd článků	242
10.6.2.	Dosažené výsledky	242
10.7.	Dlouhodobý provoz Ni-Cd akumulátorových baterií dvoustopých elektrických vozidel	247
10.8.	Příznivý vliv rychlého nabíjení na funkční vlastnosti elektrických vozidel	244

následuje několik ukázek textu

Základní pojmy



Názvosloví a základní definice z oblasti akumulátorů standardizuje norma ČSN IEC 50 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 486: Akumulátorové články a baterie z roku 1997. Ve smyslu této normy jsou dále uvedeny některé základní pojmy. Protože se ale dosud v praxi, v dokumentaci výrobků i v publikacích používá i vžitě názvosloví, které se v některých případech liší od standardizovaného, je pro usnadnění orientace uváděno v textu i toto názvosloví.

Elektrochemické zdroje elektrické energie jsou zařízení, ve kterých se přímou cestou přeměňuje chemická energie aktivních materiálů v energii elektrickou. Při vybíjení zdroje nastává chemická (přesněji elektrochemická) reakce, jejíž energie se uvolňuje jako energie stejnosměrného proudu. Jelikož jde o přímou přeměnu energií bez mezistupňů jiných typů energie (tepelná, mechanická), je účinnost přeměny velmi vysoká.

Elektrochemický článek (někdy nazývaný galvanický článek) je základní jednotkou elektrochemického zdroje elektrické energie. Je to soustava tvořená kladnou a zápornou elektrodou a vhodným iontově vodivým elektrolytem, který musí být ve styku s oběma elektrodami, jež jsou přitom prostorově oddělené. V elektrochemickém článku probíhají při jeho činnosti elektrochemické reakce, tzn. chemické reakce, jichž se účastní elektrony. Tok elektronů – elektrický proud v článku může procházet dvěma směry: přirozeným od kladné elektrody k záporné (vybíjení článku) a vynuceným vlivem vnějšího napětí od záporné elektrody ke kladné (nabíjení článku). Elektrody článku musí být odlišného charakteru: jedna musí být oxidačním, druhá redukčním činidlem (reaktantem), přičemž to mohou být látky tuhé, kapalné i plynné. Jsou-li reaktanty kapalné či plynné, příslušné reakce probíhají na inertních elektrodách.

Baterie (elektrochemická baterie, akumulátorová baterie) – dva nebo více elektrochemických článků, které jsou vzájemně propojeny a využívány jako zdroj elektrické energie.

Aktivní hmota je materiál, který při vybíjení článku dodává prostřednictvím chemické reakce elektrickou energii a nabíjením se vrátí do svého původního stavu.

Záporná elektroda je při vybíjení katodou a při nabíjení anodou. Aktivní hmotou je zde reaktant, který se při vybíjení článku oxiduje a uvolňuje elektrony. Jeho elektrodový potenciál se označuje E_A° . Příkladem je zinková elektroda: $Zn = Zn^{2+} + 2 e^-$

Kladná elektroda je při vybíjení anodou a při nabíjení katodou. Aktivní hmotou je reaktant, který při vybíjení článku uvolněné elektrony přijímá, a tudíž se redukuje. Má kladný elektrodový potenciál E_K° . Příkladem je např. „stříbrná“ elektroda: $Ag_2O + H_2O + 2 e^- = 2 Ag + 2 OH^-$

Rozdělení chemických zdrojů proudů

2

2.1. Rozdělení podle principu

Podle principu se elektrochemické zdroje proudu dělí do tří skupin. První skupinu tvoří články primární, druhou články sekundární neboli akumulátory a třetí články palivové. Zvláštní skupinou jsou přechodové články, u kterých jsou využity dva z uvedených principů. Nazývají se kombinované a obnovitelné.

2.1.1. Primární články

Jsou to články, které mají omezené množství reaktantů. Vybitím článku se reaktanty spotřebují na produkty, které nelze nabíjením, tj. vnějším elektrickým proudem, znovu převést v původní reaktanty. Jde tedy o články na jedno vybití. Hovorově se nazývají baterie.

Nejběžnějšími primárními články jsou články s burelovou (MnO_2) katodou a zinkovou anodou. Je-li v nich solný elektrolyt (vodný roztok chloridů amonného, zinečnatého a někdy vápenatého), nazývají se podle jejich vynálezce Leclanchéovy články. Obsahují-li alkalický elektrolyt (roztok KOH), hovoří se o alkalických burelových člancích. Ty lze případně i nabíjet, přesněji řečeno dobíjet, jsou-li vybity jen částečně; jsou tedy současně články sekundárními. Podobně je tomu i s články stříbrozinkovými či rtuťovými. Slouží však převážně jako články primární. Primární články vzduch-zinek pracují s alkalickým elektrolytem. Jejich katodou – oxidačním činidlem je vzdušný kyslík.

Tab. 2.1. Nejdůležitější a nejběžnější primární články

Článek	Článeková reakce	Napětí (V)	
		klidové	střední vybíjecí
Leclanchéův burelový	$2\text{MnO}_2 + \text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnOOH} + \text{Zn}(\text{OH})_2$	1,65	1,0 až 1,2
alkalický burelový	$2\text{MnO}_2 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnOOH} + \text{ZnO}$	1,60	1,1 až 1,3
rtuťový	$\text{Zn} + \text{HgO} \rightarrow \text{Hg} + \text{ZnO}$	1,35	1,1 až 1,3
zinkovzdušný	$\text{O}_2 + 2\text{Zn} \rightarrow 2\text{ZnO}$	1,35	1,1
stříbrozinkový	$\text{Ag}_2\text{O} + \text{Zn} \rightarrow 2\text{Ag} + \text{ZnO}$	1,7 až 1,8	1,3 až 1,5
lithiový	$4\text{Li} + 2\text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{Li}_2\text{O}$	3,6	2,6

V poslední době nabyly na významu články s lithiovou anodou a s elektrolyty na bázi aprotických (nevodných) rozpouštědel. Oxidačními činidly v článkách jsou různé halogenidy, sulfidy či oxidy a další sloučeniny. Tab. 2.1. podává stručný přehled o nejdůležitějších primárních článkách.

2.1.2. Sekundární články

Tyto články mají stejně jako články primární omezené množství reaktantů. Reakční produkty vzniklé vybitím článku lze však znovu převést elektrickým proudem z vnějšku na původní aktivní reaktanty, jsou to tedy články na více vybití. Elektrická energie používaná k nabití článku se v článku akumuluje ve formě chemické energie, odtud označení článků jako akumulátorů. Jelikož napětí jednoho článku je malé (běžně 1,2 až 2 V – podle typu akumulátoru), sestavují se z článků akumulátorové baterie. Například běžná automobilová baterie 12 V je sestavena ze šesti článků. Podle elektrolytu použitého v sekundárním článku se tyto akumulátory dělí na akumulátory kyselé (olověné), alkalické (Ni-Cd, Ni-Fe, Ni-Zn, Ni-MH, Ag-Zn) a (dosud poněkud exotické) akumulátory s nevodnými, tuhými nebo roztavenými elektrolyty.

Většina akumulátorů je schopna snést až stovky či tisíce nabití a vybití. Počet cyklů nabití-vybití (tj. životnost udávaná v cyklech) je jedním z hlavních parametrů charakterizujících daný akumulátor. Kvalitu akumulátoru ovlivňuje kromě jiného pasivace elektrod, samovybití elektrod, způsob provozování akumulátoru a další okolnosti.

Sekundární článek je nízkonapěťový zdroj, takže i nepatrný úbytek napětí na vnitřním odporu (např. o 0,1 V) má značný vliv na elektrické charakteristiky (napětí, konečné nabíjecí napětí, ampérhodinová a watt hodinová účinnost a další). Vnitřní odpor akumulátoru je tvořen odporem jednotlivých částí všech článků po celé dráze proudu – od jednoho vývodu akumulátoru k druhému, tj. elektrod, kovových spojek, ale i elektrolytu.

V dalších kapitolách této knihy je podrobný popis akumulátorů a jejich nabíjení.

2.1.3. Palivové články

Název těchto článků je odvozen od skutečnosti, že v nich probíhá tzv. studené spalování paliva za tvorby elektrického proudu. Pro funkci palivových článků musí být splněny dvě základní podmínky: palivo i okysličovadlo jsou kontinuálně a přitom odděleně přiváděny k elektrodám a reakční zplodiny jsou kontinuálně z článku odváděny. Články se tedy pouze „vybíjejí“ a fungují, je-li zajištěn přívod paliva a okysličovadla do článku.

Jako palivo lze v palivových článkách použít vodík, formaldehyd, amoniak, oxid uhelnatý, zemní plyn, metan, metanol, etanol a kyselinu mravenčí, oxidačními činidly může být buď čistý kyslík, vzduch a peroxid vodíku.

Elektrolytem mohou být vodné roztoky hydroxidu draselného (KOH) nebo kyseliny sírové (H_2SO_4) nebo fosforečné (H_3PO_4), dále iontoměničové membrány, roztavené uhlíčitany nebo tuhé oxidické keramiky.

Elektrody palivových článků jsou inertní, na nich probíhají příslušné elektrodové reakce. Průběh reakcí se urychluje pomocí katalyzátorů (nejčastěji jsou jimi platina či platinové kovy).

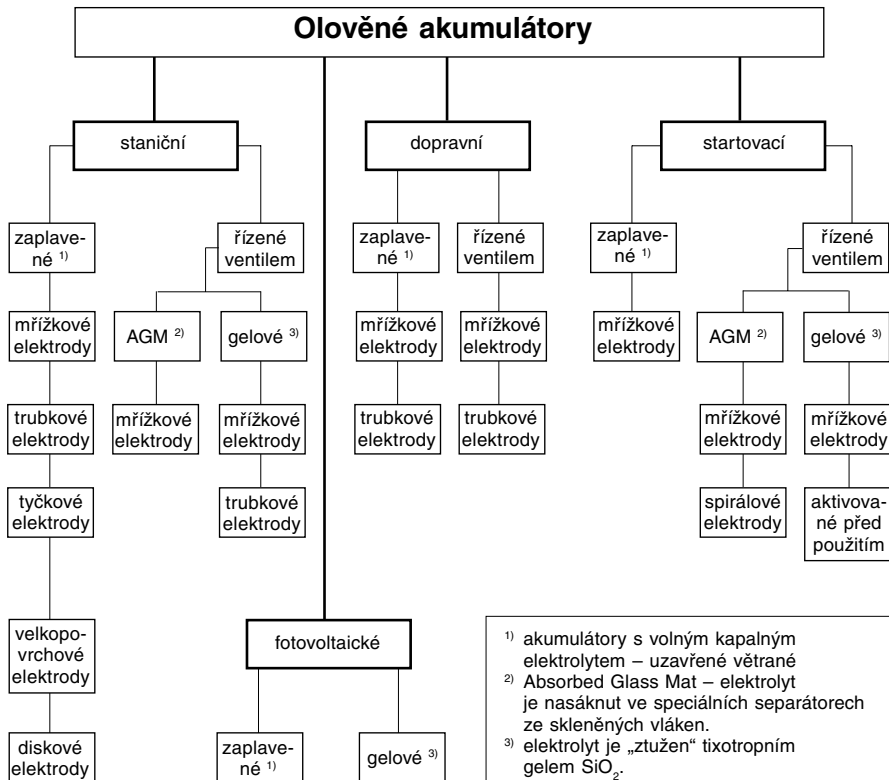
do činnosti nedosahuje kapacita kladných elektrod 100 %. Kapacita elektrod pozvolna roste během jejich provozu. Maxima dosahuje v 1/3 až 1/2 životnosti a pak zvolna klesá. Záporné elektrody dosahují maximální kapacity na počátku provozu akumulátorů. Rozdíly v kapacitě kladných a záporných elektrod během životnosti akumulátorů jsou znázorněny na obr. 3.9.

Záporné elektrody mají delší životnost než kladné. To umožňovalo u dřívějších akumulátorů s velkopovrchovými elektrodami výměnu kladných elektrod po skončení jejich životnosti. Tím se životnost akumulátorů prodloužila téměř dvojnásobně. V současné době se vyrábějí kompaktní akumulátory, které nelze upravovat. Životnost elektrod obou polarit je téměř stejná.

3.8. Konstrukce olověných akumulátorů

Olověné akumulátory jsou po konstrukční stránce podřízeny účelu jejich použití. Na obr. 3.10 je znázorněno jejich základní dělení. Staniční a dopravní (trakční) akumulátory lze uvádět též pod společným názvem *průmyslové akumulátory*. Dělení může

Obr. 3.10. Příklad rozdělení různých konstrukcí akumulátorů podle účelu použití



3.17. Provozní závady olověných akumulátorů

3.17.1. Přebíjení

Přebíjení znamená v cyklickém provozu nabíjení akumulátorů po dosažení znaků plného nabití. V provozu trvalého dobíjení dochází k přebíjení tehdy, dodává-li se akumulátorům více elektrické energie, než je třeba pro krytí ztrát jejich samovolným vybitím, např. nastavením vyššího konstantního napětí, než odpovídá příslušnému typu akumulátoru a provozní teplotě. Všechny druhy přebíjení zkracují životnost akumulátorů.

Projevy:

- zvýšená elektrolyza vody na kyslík a vodík, urychlující pokles hladiny elektrolytu,
- urychlená koroze olověných kolektorů kladných elektrod, způsobující jejich deformování a rozpad,
- snížená soudržnost kladné aktivní hmoty následkem úbytku síranu olovnatého,
- uvolňované částice kladné aktivní hmoty způsobující nahnědlé zbarvení elektrolytu, zvyšující množství kalu na dně článků, který může způsobovat zkrat mezi elektrodami, nejsou-li na elektrodách obálkové separátory,
- část uvolněných částic kladné aktivní hmoty je přitahována k záporným elektrodám, kde se redukuje za vzniku tzv. olověné houby, která postupně narůstá a může způsobit zkrat mezi elektrodami.

Opatření:

- přerušit nabíjení (trvalé dobíjení), baterii ponechat v klidu, aby částice uvolněné kladné hmoty klesly ke dnu,
- baterii vybit do konečného napětí 1,8 V na článek,
- seřadit nabíjení (trvalé dobíjení) na správnou hodnotu a vybitou baterii nabít do znaků plného nabití.

3.17.2. Nabíjení velkými proudy

Tento druh nabíjení se nesmí používat k rychlému nabíjení akumulátorů řízených ventilem pro možnost jejich poškození. U akumulátorů se zaplavenými elektrodami se rychlé nabíjení velkými proudy klasickými nabíječkami používá jen výjimečně při nedostatku času.

Projevy:

- zvýšená elektrolyza vody v elektrolytu,
- vzestup teploty elektrolytu a zrychlení nežádoucích chemických reakcí zkracujících životnost akumulátorů,
- poškozování povrchové vrstvy aktivní hmoty kladných elektrod přebíjením,
- sulfatace vnitřní vrstvy aktivní hmoty následkem vzestupu teploty a přebytku iontů SO_4^{2-} , které nestačí difundovat do elektrolytu,
- pokles účinnosti nabíjení.

Opatření:

- nabíjení velkými proudy klasickými nabíječkami používat jen výjimečně, při nedostatku času pro běžné nabití baterie;
- nabíjení vysokými proudy se ukončí vždy, dosáhne-li napětí 2,4 až 2,45 V na článek a vzroste-li teplota elektrolytu na +40 °C, i když se neobnoví plná kapacita baterie;
- po každém nabíjení velkým proudem se baterie po vybití nabije proudem 0,1 až 0,2C_N (A) do vzestupu napětí na 2,4 V na článek a pak proudem 0,5C_N (A) do znaků plného nabití.

Další druhy akumulátorů

5

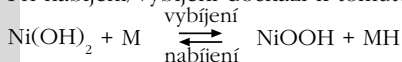
Mezi alkalickými akumulátory jsou méně obvyklé systémy nikl-zinek, nikl-hydrid kovu a vzduch-zinek, z dalších nealkalických akumulátorů jde o systémy brom-zinek, síra-sodík, chlorid nikelnatý-sodík a lithium-ion. V této kapitole si podrobněji všimneme akumulátorů, které v současné době nabývají na důležitosti a které jsou již komerčně dostupné. Jde o systémy nikl-hydrid kovu, nikl-zinek a lithium-ion. U ostatních nekomerčních uvedeme pouze jejich princip, běžný uživatel se s nimi nesetká.

5.1. Systém nikl-hydrid kovu [5.1]

Hlavními složkami článků Ni-MH jsou:

- kladná elektroda na bázi sloučenin niklu,
- záporná elektroda ze slitiny pohlcující vodík,
- elektrolyt, jímž je zředěný roztok hydroxidu a
- separace.

Při nabíjení/vybíjení dochází k tomuto chemickému procesu:

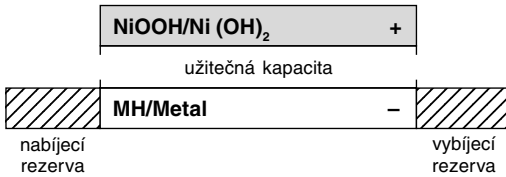


kde M označuje slitinu a MH hydrid kovu. Základním rozdílem mezi články Ni-Cd a Ni-NiH je náhrada kadmia slitinou kovu pohlcující vodík. Při volbě složení slitiny se sledují tyto vlastnosti: velká skladovací kapacita pro vodík, která se projeví velkou vybíjecí kapacitou, beztlakové skladování vodíku při pracovních teplotách, velká odolnost k oxidaci při dlouhodobém používání a vhodné kinetické parametry, aby článek mohl být kontinuálně vybíjen velkými proudy.

Uzavřené články Ni-MH vyžadují, aby byl spotřebováván kyslík tvořící se na kladné elektrodě ke konci nabíjení a tím se předešlo vytváření přetlaku v článku. Aby nenastala degradace záporné elektrody ke konci vybíjení, má článek dodatečnou vybíjecí rezervu. Záporná elektroda je ve srovnání s kladnou předimenzována (obr. 5.1.), přičemž kladná elektroda určuje použitelnou kapacitu článku.

Výrobci těchto akumulátorů v současné době uvádějí tyto charakteristiky:

- měrná energie 55 až 80 W·h/kg nebo 180 až 280 W·h/l,
- svorkové napětí nezatíženého článku 1,3 až 1,4 V (v závislosti na teplotě, stavu nabití a době skladování),
- jmenovité napětí 1,2 V,
- konečné vybíjecí napětí 1,1 až 0,9 V (v závislosti na aplikaci, počtu článků v baterii a rychlosti vybíjení).



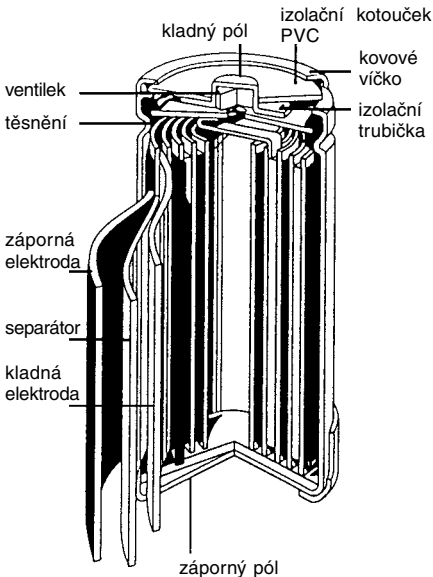
Obr. 5.1. Schematické znázornění elektrod ukazující užitečnou kapacitu, nabíjecí rezervu a vybíjecí rezervu

5.1.1. Konstrukce uzavřených článků Ni-MH

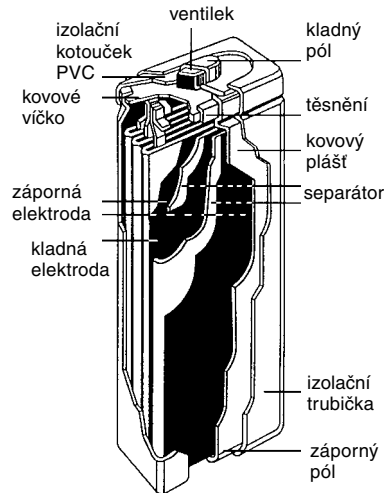
Obě elektrody jsou vysoce porézní a pro umístění do válcových článků jsou stočeny do svitku. Syntetický netkaný materiál slouží jako separátor, který izoluje kladnou elektrodu od záporné. Stočený svitek elektrod je vložen do válcového ocelového poniklovaného kalíšku. Elektrolyt je absorbován v elektrodách a v separátoru. Článek je uzavřen víčkem, ve kterém je ventil, pólová čepička a plastové těsnění. Kalíšek funguje jako záporný a víčko jako kladný vývod; obě části jsou navzájem izolovány těsněním (obr. 5.2). Ventil je dalším bezpečnostním opatřením zajišťujícím tlakové poměry v článku.

Zásadní odlišnost článků spočívá v materiálu elektrod: některé články jsou vybaveny kladnými elektrodami s pěnovou strukturou a zápornými s pastovou strukturou, jiné mají kladné elektrody spěkané a záporné válcované za sucha. Články hranolové (prizmatické) mají elektrody ploché, nestočené a prostor mezi nimi je vyplněn separátorovými deskami (obr. 5.3). Tab. 5.1 informuje o složkách článků Ni-MH.

Obr. 5.2. Konstrukce válcového Ni-MH článku



Obr. 5.3. Konstrukce hranolového Ni-MH článku



Nabíjení a nabíječe

7

Důležitým článkem technologického procesu obnovení energie akumulátoru je kromě profesní poctivosti obsluhy **kvalita nabíječe**. Akumulátor je vždy více poškozován špatným nabíjením než vybitím. Špatně přizpůsobená kabeláž, kolísavé napětí v síti, zastaralá nabíjecí technika a nedostatečná kontrola nabíjecího procesu, včetně tvaru nabíjecí křivky, mají vždy rozhodující vliv na dosažení konečných znaků nabití akumulátoru. Následkem nedostatečného nabíjení je postupné snižování kapacity akumulátoru, což v podstatě znamená zkracování jeho životnosti.

Je až s podivem, jaké procento nových baterií je „nabíjeno“ (patříčné slovo v uvozovkách by bylo spíš „systematicky ničeno“) nevhodnými nabíječi, jejichž stáří se často počítá na desítky let. Za nabíjecí stanoviště se často považují temná zákoutí nebo příležitostně výklenky, naprosto odporující příslušné ČSN 33 2610 i pouhému technickému cítění. Podle citované normy musí být prostory pro nabíjení v zájmu ochrany zdraví a bezpečnosti práce dostatečně větrány, opatřeny pomůckami a prostředky proti působení elektrolytu, opatřeny bezpečnostními tabulkami, provozním předpisem a lékárníčkou.

Zanechejme však teoretických úvah a věnujme se praktickým radám. **Je několik kritérií pro nákup nabíjecí techniky**. Prioritu jejich důležitosti musí stanovit při nákupu konečný zákazník. Ve všeobecné platnosti zůstává, že všechna mají přibližně stejnou váhu důležitosti.

7.1. Rychlost nabití

Zkrácení nabíjecích časů zejména v případě napájení manipulační techniky výrazně redukuje počty jednotlivých prostředků (vozidel), a tím i počet samotných nabíječů.

Zrychlení nabíjecího procesu umožňuje:

- zejména možnost využít větší nabíjecí proudy, společně s možností volby optimálního průběhu nabíjecí charakteristiky. Toto umožňují pouze nabíječe vybavené mikroprocesorovým (počítačovým) řízením,
- vzduchování (míchání) elektrolytu nabíjené baterie během nabíjecího procesu. Nabíječ musí být způsobilý ovládat přídatná vzduchovací zařízení (např. Trakair, Aquafil). Baterie musí být od výrobce vybavena vzduchovacími trubičkami, zavádějícími vzduch na dno jednotlivých článků. Toto opatření zkracuje dobu nabíjení až o 30 %. Někteří výrobci používají k promíchání elektrolytu také hluboký vybíjecí impuls, zařazený mezi několik nabíjecích impulsů.

7.2. Energetická účinnost

Účinnost současných moderních nabíječů by neměla být nižší než 90 %. Optimum je okolo 93 až 95 %. Při rostoucích cenách elektrické energie je tento faktor velice důležitý pro následný výpočet další ekonomie elektrických procesů a podstatně ovlivňuje návratnost vložených investic. Další možností úspory elektrické energie je posunutí začátku nabíjení do ekonomicky výhodného časového pásma (v nabíječi zabudovaná časová relé).

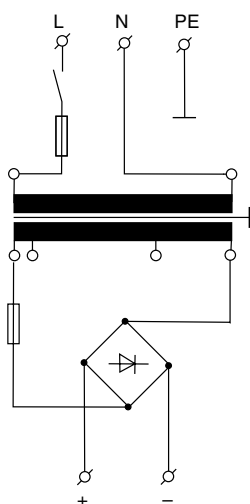
7.3. Korekce nabíjení a teploty

Největší vliv na zkrácení životnosti má hluboké vybití akumulátoru. Tento stav nelze ovlivnit nabíječem, je výhradní záležitostí obsluhy. Hlubokým vybitím není v žádném případě míněna nepojízdnost vozíku nebo jeho neschopnost unést břemeno, ale vybití baterie pod 80% její jmenovité kapacity.

Nenásleduje-li po hlubokém vybití (pod 1,7 V/článek) okamžité nabíjení akumulátoru, nastává nevratná tvorba síranů na elektrodách. Důsledkem je stálé snižování kapacity baterie a zvyšování jejího vnitřního odporu.

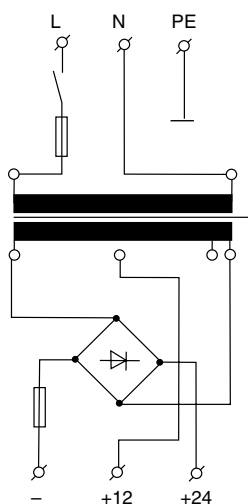
Přebíjením dochází k tzv. „vyváření“, baterie, doprovázené únikem obtěžujících aerosolů. Obecně platí, že při zvýšení teploty o 10 °C, probíhá chemický proces dvakrát rychleji. Úměrně tomu dochází ke zkracování životnosti baterie. Proto je nutné volit nabíječ s možností přesných korekcí plynovacího napětí, optimálně i s možností korekce nabíjecího procesu. Doporučená charakteristika nabíječe je IUIa. Zdroj by měl být regulovaný, procesorem řízený a kromě teplotní korekce vybaven též kompenzací úbytku napětí na vodičích k baterii.

Obr. 7.1. Jednoduché schéma nabíječe s jedním výstupním napětím



L - fázový vodič,
N - střední vodič,
PE - ochranný vodič

Obr. 7.2. Jednoduché schéma nabíječe s dvěma výstupními napětími



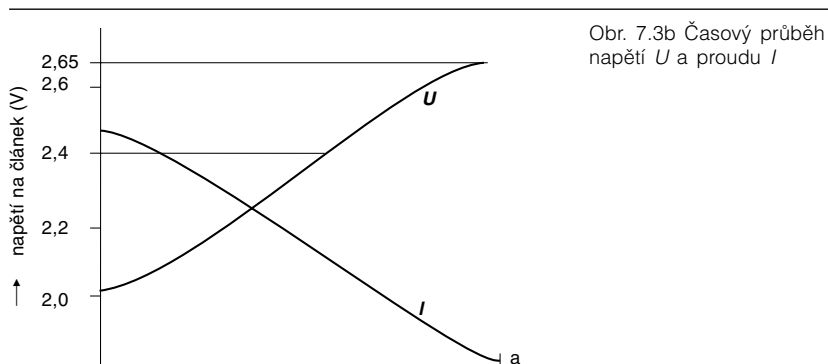
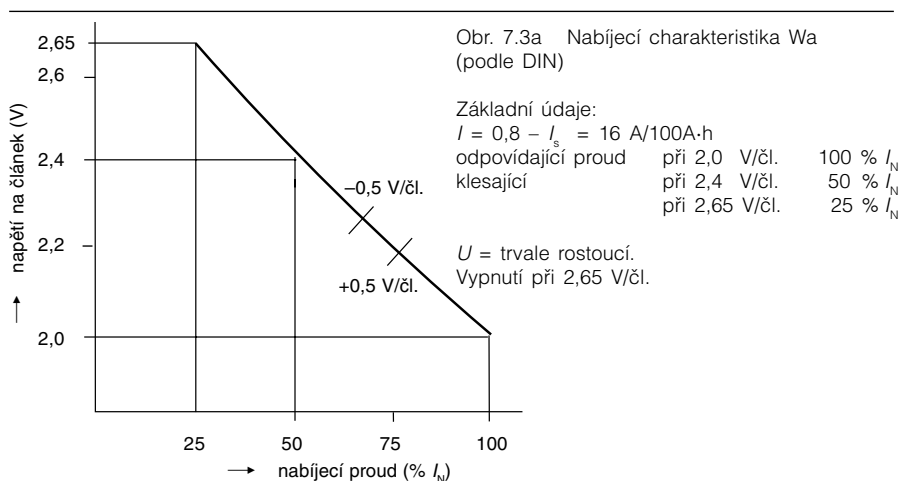
7.4. Nabíjecí charakteristiky

Základním rozlišujícím hlediskem nabíječů (obr. 7.1 a obr. 7.2) je způsob nabíjení daný nabíjecí charakteristikou přístroje. Tento údaj je zcela vypovídající o konstrukční úrovni nabíječe. Mezi nejjednodušší patří nabíječe s charakteristikami W, a to ve všech modifikacích.

Druhy nabíjecích charakteristik podle norem VDE:

- I** charakteristika konstantního proudu,
- U** charakteristika konstantního napětí,
- W** charakteristika klesající,
- a** automatické vypínání,
- o** samočinné přepínání na jinou charakteristiku.

Při popisu nabíjecího režimu se používají uvedené zkratky v pořadí udávajícím časový průběh nabíjecího postupu.



Sběr a recyklace použitých akumulátorů



9.1. Legislativa

Jedním z problémů, kterým je v poslední době věnována v oblasti odpadového hospodářství stále větší pozornost, je nakládání s výrobky po ukončení jejich životnosti a odpovědnost výrobců za ně. Právní předpisy v zemích EU i v ČR stanovují u řady komodit povinnost výrobců a dovozců odebrat bezplatně nefunkční výrobky od spotřebitelů a zajistit jejich odstranění nebo recyklaci v souladu s právními předpisy platnými v oblasti odpadového hospodářství. Jedná se o takzvaný zpětný odběr (angl. *take-back*).

Mezi komodity, u kterých byla v nedávné době zavedena v ČR povinnost zpětného odběru, patří i akumulátory. Ve většině zemí EU byl systém zpětného odběru akumulátorů zaveden již před několika roky v souladu se směrnicí Rady č. 91/157/EEC, k bateriím a akumulátorům obsahujícím některé nebezpečné látky.

Zpětný odběr je u akumulátorů zaváděn zejména z toho důvodu, že některé typy článků obsahují nebezpečné látky (např. olovo v olověných akumulátorech) a těžké kovy (např. kadmium). Účelem zpětného odběru je oddělit použité akumulátory z toku směsných komunálních odpadů a po vyřídění je dekontaminovat a materiálově využít.

9.1.1. Legislativa EU

V rámci Evropské unie byl již v roce 1991 přijat samostatný právní předpis týkající se nakládání s použitými bateriemi a akumulátory. Jedná se o směrnici Rady ze dne 18. března 1991 č. 91/157/EEC k bateriím a akumulátorům obsahujícím některé nebezpečné látky. Tato směrnice byla novelizována směrnicí Komise ze dne 4. října 1993 č. 93/86/EEC a směrnicí Komise č. 98/101/EEC ze dne 28. prosince 1998.

Výše zmíněné směrnice navazují a rozšiřují celý systém právních předpisů EU o odpadech (např. směrnice Rady č. 75/442/EEC o odpadech, směrnice Rady č. 91/689/EEC a č. 94/31/EEC k nebezpečnému odpadu a rozhodnutí Komise č. 94/3/EEC, kterým se vydává seznam nebezpečných odpadů).

Cílem směrnice k bateriím a akumulátorům je sjednotit legislativu členských států EU v oblasti recyklace a odstranění použitých baterií a akumulátorů, které obsahují nebezpečné látky.