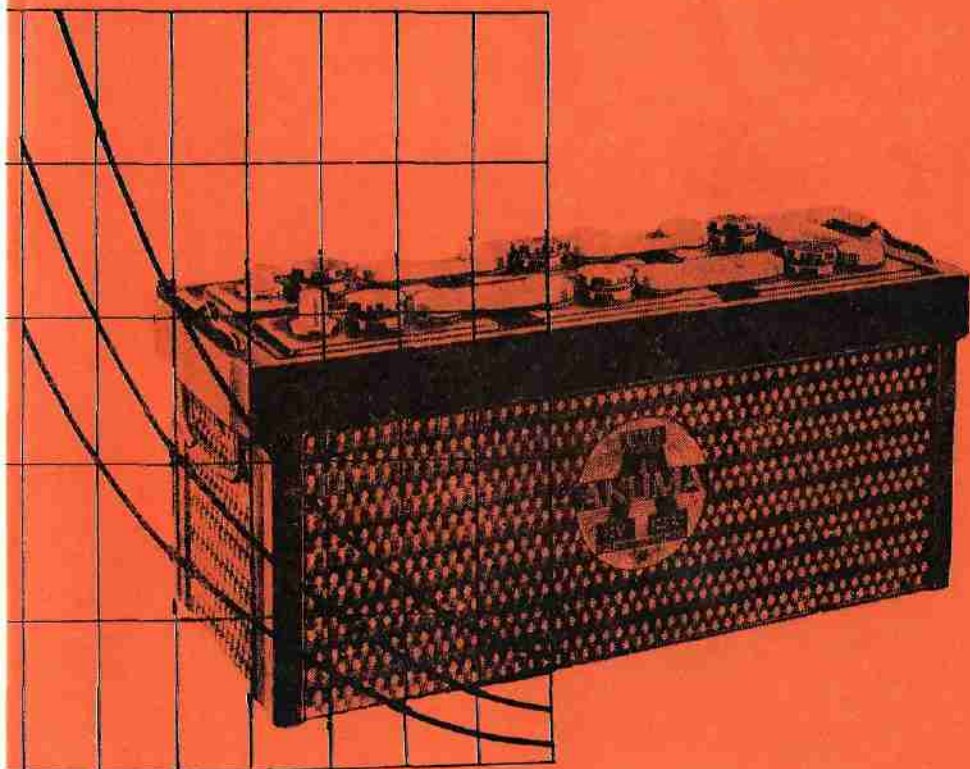


nabíječe a nabíjení

MIROSLAV ARENDÁŠ - MILAN RUČKA

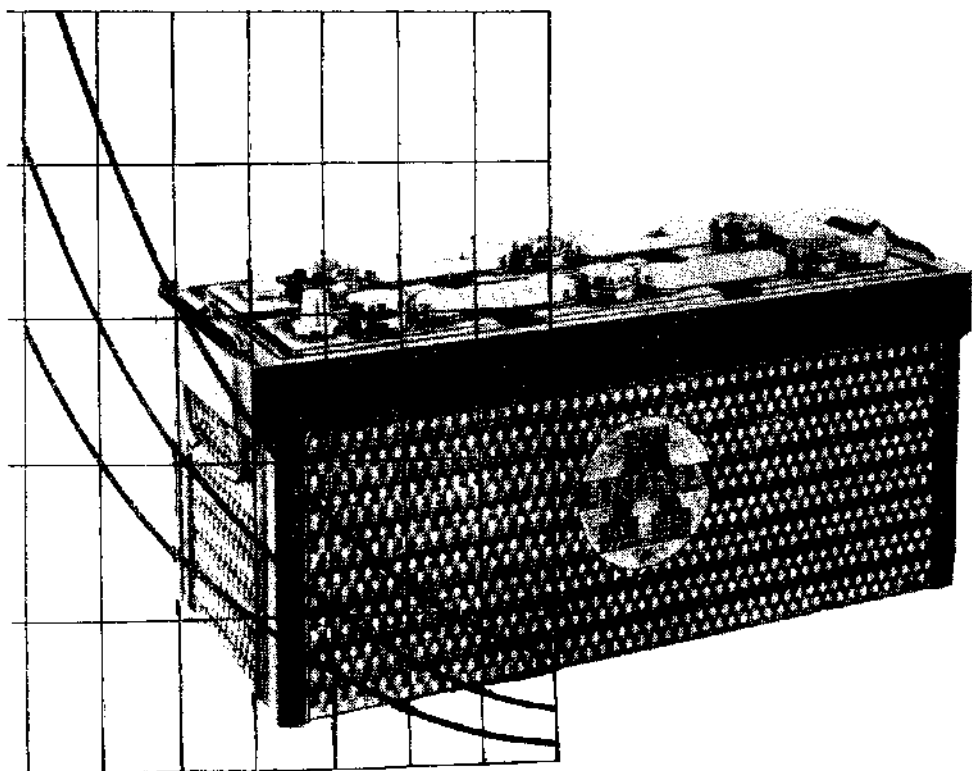


SNTL POPULÁRNÍ ELEKTRONIKA
ŘADA KONSTRUKČNÍ - SV. 6

nabíječe a nabíjení

5455

MIROSLAV ARENDÁŠ – MILAN RUČKA



SNTL POPULÁRNÍ ELEKTRONIKA
ŘADA KONSTRUKČNÍ – SV. 6

Kniha popisuje vlastnosti akumulátorů, jejich měření, kontrolu, opravy i údržbu. Přináší návody na stavbu nabíječek vhodných pro amatéry i náročnější zapojení pro polo-profesionální praxi.

Kniha je svým zpracováním určena pro všechny motoristy, amatéry a další pracovníky, kteří se zabývají údržbou akumulátorů.

Lektoři :

Ing. Dr. František, Kašpar, DrSc.,
Ing. Milan Syrovátka

Redakce elektrotechnické literatury
— hlavní redaktor Ing. Adolf Klímeck, CSc.
Odpovědný redaktor Ing. Jaromír Čížek

© Ing. Miroslav Arendáš, Ing. Milan Ručka, 1978

OBSAH

Předmluva	9
Úvod	10
I. Základní bezpečnostní předpisy	14
1. Ochrana před nebezpečným dotykem	15
2. Zásady elektrického rozvodu	26
II. Základní elektrochemické články	30
3. Mezinárodní Westonův normálový článek	30
4. Galvanické články	31
5. Alkalický rtuťový článek	37
6. Horčíkové články	38
7. Olovený akumulátor	39
8. Vlastnosti oloveného akumulátoru	45
9. Alkalické akumulátory	49
10. Porovnání jednotlivých druhů akumulátoru a další vlastnosti alkalických akumulátoru	51
11. Stříbrozinkové akumulátory	54
12. Uzavřené niklotadmiové články	57
13. Vlastnosti uzavřených niklotadmiových článků	59
14. Doba života článků NiCd a jejich nabíjení	59
15. Palivové články	61
16. Porovnání palivových článků s jinými zdroji energie	62
17. Špecifické podmínky provozu palivových baterií	63
18. Konstrukce palivových baterií	64
19. Sluneční baterie	68
III. Zkoušení a měření elektrochemických zdrojů	73
20. Zkoušení a měření galvanických článků a akumulátorů	73
21. Měření napětí naprázdno	73
22. Měření vnitřního odporu článku nebo akumulátoru	74
23. Měření impedance článku nebo akumulátoru	74
24. Měření kapacity článku nebo akumulátoru	75
25. Měření hustoty elektrolytu	77
26. Měření startovací schopnosti akumulátoru	78
27. Zkouška doby života	79
28. Kontrola odolnosti proti přebíjení	80

IV. Údržba akumulátorů a jejich drobné úpravy	31
29. Údržba olověných akumulátorů	81
30. Údržovací nabíjení a samovolné vybíjení	85
81. Sulfatace	85
32. Další závady olověných akumulátorů	86
33. Alkalický akumulátor	87
34. Stříbrozinkový akumulátor	89
V. Všeobecné zásady při nabíjení akumulátorů	91
35. Nabíjení podle charakteristiky U	91
36. Nabíjení podle charakteristiky I	94
37. Nabíjení podle charakteristiky W	96
38. Dobíjení článků nesymetrickým střídavým proudem se zpětným vybíjením	96
VI. Konstrukční Části nabíječů	98
39. Transformátor	98
40. Usměrňovače	101
41. Odrušovací součástky	102
42. Měřicí přístroje	104
43. Ampérmetry	106
44. Bočníky	107
45. Předřadné odpory k voltmetru	110
46. Časové spínače	111
47. Ochrana nabíječů	113
VII. Akumulátor v motorovém vozidle	116
VIII. Amatérské nabíječe akumulátorů	121
48. Nabíječe akumulátorů s odporovým omezením proudu	121
49. Nabíječ akumulátorů s odporovým omezením proudu	123
50. Nabíječ akumulátorů bez vnějších odporů	129
51. Vyrovnávací nabíječ pro akumulátor v automobilu	132
52. Nabíječ s omezením nabíjecího proudu žárovkou	133
53. Nabíječ akumulátorů s kondenzátorem	139
54. Nabíječ akumulátorů s kondenzátorem pro síť 220/120 V s továrně vyráběným transformátorem	145
55. Nabíječ akumulátorů s kondenzátorem a s automatickým vypínáním	146
56. Zjednodušený nabíječ akumulátorů s kondenzátorem	149
57. Nabíječ akumulátorů s rozptylovým transformátorem	151
58. Nabíječe pro uzavřené články NiCd	156
59. Nabíječ s integrovaným obvodem MAA 723	159
60. Nabíječ malých NiCd a olověných akumulátorů s automatickým vypínáním	162
61. Tranzistorový nabíječ s charakteristikou I	165
62. Tyristorové nabíječe s charakteristikou I	171
63. Nabíječ s triakem v primárním vinutí transformátoru	179
64. Automatický nabíječ pro dvanáctivoltové akumulátory	182
65. Tyristorový nabíječ s napěťovým omezením nabíjení	186

66. Nabíječ s tyristorovým ochranným obvodem	
67. Nabíječ s jednoduchou tyristorovou regulací proudu	190
68. Automatický nabíječ malých akumulátorů	191
69. Tyristorový nabíječ s periodickou kontrolou stavu nabití	194
70. Automatický nabíječ s kontrolní indikací pomocí žárovek	197
71. Svářecí transformátor kombinovaný s nabíječem šestivoltových i dvanáctivoltových akumulátorů	199
IX. Profesionální nabíječe.	203
72. Nabíječe pro skupinové nabíjení akumulátorů	203
73. Nabíječ akumulátorových baterií NB 15.	208
X. Základní pojmy.	211
Literatura.	218

PŘEDMLUVA

Naším záměrem je vytvořit z této příručky praktickou pomůcku pro všechny uživatele malých chemických zdrojů energie, tedy zejména pro motoristy, radioamatéry, ale i pracovníky, kteří přicházejí do styku s těmito zdroji energie z titulu svého povolání. Těžiště **knihy** je v těch částech, kde je uvedeno a popsáno mnoho osvědčených nabíječů, a to takovým způsobem, že si je každý může realizovat. Kromě toho uvádíme doplňky a přístroje nutné k údržbě zejména olověných akumulátorů. Úmyslně sme se vyhnuli přílišnému teoretizování a podrobnému popisování fyzikálně chemických dějů probíhajících v chemických zdrojích energie. Tyto děje jsou popsány v mnoha učebnicích fyziky a chemie. Záměrně také nejsou popisovány všechny typy profesionálních nabíječů. Popis dvou typů nabíječů vyráběných v závodě ČKD Polovodiče sme zařadili pro porovnání s návody amatérskými zejména proto, že jde o nabíječe na světové technické úrovni. Kromě ČKD Praha n. p. se v ČSSR zabývá výrobou nabíječů akumulátorů ještě mnoho dalších výrobců, z nichž nejdůležitější jsou: Elektropřístroj Modřany n. p., Rukov Rumburk n. p., Elektrodruštvo Praha a Dahor Most. V ČSSR se vyskytuje též mnoho přístrojů z dovozu. Jsou to např. ze SSSR typy ZUK a VAZ, z **BLR nabíječe** řady EKT a další.

Autoři

ÚVOD

Rozvoj elektrochemie, který je velmi bouřlivý, má své příčiny ve velkém spotřebitelském zájmu o chemické zdroje elektrické energie. Příčiny tohoto zájmu lze rozdělit do dvou kategorií. Je to zejména velická potřeba malých zdrojů do elektronických a elektrických zařízení, přístrojů, hraček, rozhlasových přijímačů, televizorů, magnetofonů, optických zařízení a dalších přístrojů. Druhý hlavní důvod je stále se zvětšující potřeba akumulátorů používaných v trakci a potřeba startovacích akumulátorů u výbušných motorů v osobních dopravních prostředcích a nákladních automobilech.

Elektrická energie odebíraná z elektrického rozvodu (sítě) je v porovnání s každou elektrickou energií získanou z chemických zdrojů mnohokrát levnější. Přesto se často používají i poměrně velké rozhlasové přijímače v polopřenosném provedení, napájené suchými články nebo malými akumulátory. Nezávislost na síťovém napětí, téměř zanedbatelné šumové poměry chemických zdrojů, mobilita celého přijímače, ale i zvýšení životní úrovně uživatelů způsobuje tento energetický paradox. Rozhlasový přijímač není jediným hromadně používaným spotřebičem, který má napájení z chemických zdrojů. Suchý galvanický článek máme doma v hodinách s automatickým natahováním, v přenosném televizoru, magnetofonu, elektronické kalkulačce. V přístrojích pro fotografování takový článek napájí motorek automatické clony, popřípadě dobíjí kondenzátory elektrochemickéhoblesku. Běžně se vyrábějí elektronické měřicí přístroje, např. osciloskopy, měřicí generátory, číslicové voltmetry, které se mohou napájet jak ze sítě, tak z galvanických článků nebo vestavěného akumulátoru. Klasické je používání chemických zdrojů v přenosných svítilnách. Vývoj spotřebitelské poptávky po těchto malých zdrojích nikdo v padesátých letech nepředpokládal. Odborníci jím byli citelně zaskočení, národohospodářské plány s tak velkým růstem potřeby těchto zdrojů nepočítaly. Velké naděje byly vkládány do palivových, rtuťových, stříbrozinkových a jiných článků. Suchý burelový článek se pokládal za málo perspektivní. Tento, téměř již zavržený Článek vede v objemu výroby vzhledem k ostatním malým zdrojům chemické elektrické

energie ve všech vyspělých státech světa. Vzrůst objemu jeho výroby je téměř monumentální. U nás se např. v roce 1947 vyrobilo těchto článků za 27 miliónů Kčs, v roce 1963 za 53 miliónů Kčs a v roce 1969 již za 86 miliónů Kčs a tento vývoj stále pokračuje. Světový vývoj je obdobný. Podobně, i když ne tak prudce, se zvyšuje výroba i u niklo-kadmiových pouzdrěných článků. Přesto je všech malých chemických zdrojů, zejména burelosalmiakových článků, na světovém i našem vnitřním trhu trvalý nedostatek.

Z rozměrově větších elektrochemických zdrojů se vlivem rozvoje automobilismu prudce zvětšila spotřeba a výroba startovacích olověných akumulátorů. Svoji pozici si udržuje též niklokadmiový, alkalický akumulátor, který nahradil dříve vyráběný nikloocelový (NiFe) akumulátor. Ostatní druhy akumulátorů nemohou zatím svým objemem výroby uvedeným druhům konkurovat. Olověný akumulátor, ačkoli není v porovnání s ostatními akumulátory provozně zdaleka nejlepší, je výhodný pro svou nízkou cenu. Pro ilustraci: porovnáme-li ceny stejně velkých olověných akumulátorů s ostatními akumulátory, pak akumulátor niklokadmiový je třikrát dražší, niklokadmiový akumulátor se sintrovanými elektrodami šestkrát dražší, akumulátor stříbrozinkový devětkrát dražší a akumulátor stříbrokadmiový desetkrát dražší. Cenu palivových článků pak nelze vůbec s těmito zdroji porovnávat. Velký objem výroby olověných akumulátorů vyvolává zpětný tlak na vývojové pracovníky a ti neustále vylepšují jejich vlastnosti. Zlepšuje se zejména doba života v cyklech, ale i kapacita akumulátoru vztažená na jednotku objemu i hmotnosti.

Většinu uživatelů zajímá olověný akumulátor a jeho údržba v motorovém vozidle. Ačkoliv jsme již uvedli, že olověný akumulátor je ze všech známých typů akumulátorů nejlevnější, je pro spotřebitele motoristu stále jedním z nejdražších náhradních dílů v automobilu. Přisuzuje se mu mnoho nesnází se startováním automobilu, především v zimním období. Jak dále podrobněji uvedeme, zmenšuje se kapacita akumulátoru s teplotou tak, že např. při -20°C je pouze poloviční. Protože při startování motoru je průměrný proud asi 70 A, je akumulátor obvykle již po jedné až dvou minutách startování úplně vybitý. Při běžícím motoru se samozřejmě akumulátor z dynamu nebo alternátoru opět nabíjí, avšak současně zapínáme některé další spotřebiče elektrické energie. Je zajímavé pro orientaci uvést příkony spotřebičů u běžného osobního automobilu:

zapalování 16 W, obrysová světla 8 W, koncová světla 8 W, osvětlení SPZ 10 W, osvětlení přístrojové desky 10 W, tlumená nebo dálková světla 90 W, halogenové mlhovky 110 W, tlumená nebo dálková světla halogenová 110 W, koncové mlhové světlo 35 W, motorek stěrače 30 W, motorek topení 30 W, vytápění zadních skel 70 až 100 W. Dynamo

běžně dodá výkon asi 350 až 700 W, takže při zapnutí několika spotřebičů se může snadno stát, že na dobíjení akumulátoru nezbude již žádná energie. K opětovnému vyrovnání úbytku energie při třicetisekundovém startování se musí akumulátor nabíjet asi půl hodiny. Zapnutí dalších spotřebičů (například světel, stěračů, mlhovek) nebo jízda v městském provozu znamená, že je energetická bilance vozidla sice kryta z energie dynama, ale akumulátor se nám již nedobíjí. Jezdí-li vozidlo převážně v městském provozu nebo v zimě, kdy používáme téměř všechny spotřebiče najednou a startování je přirozeně delší, je nutné stav nabití akumulátoru důsledně kontrolovat a snažit se, aby byl neustále nabit na plnou kapacitu. U vybitého akumulátoru je velké nebezpečí, že se zničí, zejména sulfatizací elektrod, a u vozidel stojících v zimě pouze na parkovišti i zmrznutím elektrolytu, neboť vybitý akumulátor mrzne už při několika stupních pod nulou.

Velmi populární jsou úvahy o elektromobilech. Jejich hromadné zavedení by řešilo některé problémy motorismu a vedlo by patrně k dalšímu oživení zájmu o elektrochemii a problémy kolem nabíjení a ošetřování akumulátorů vůbec. Je velmi pravděpodobné, že vývoj nabíječů a nabíjecích metod by se dále mohutně rozvinul. Klady elektromobilu jsou známe. Mají téměř nehluký provoz, žádné zplodiny hoření. Pohon, tj. elektromotor lze realizovat velmi efektivně, s velkým záběrným momentem, s výhodným rozložením výkonu téměř nezávislým na otáčkách, elektronickou regulací otáček apod. Optimisté — zastánci elektromobilů prohlašují, že všechny hlavní obtíže kolem vývoje elektromobilů jsou vyřešeny a stačí pouze vyrábět. Již dnešní elektromobily předčí v ekonomice provozu, zejména ve městě, automobily se spalovacím motorem. Jako zdroje energie lze zatím používat olovené nebo niklokadmiové akumulátory. Olovo starých akumulátorů lze téměř všechno použít znovu při výrobě akumulátorů nových, takže potřeba surovin by nebyla tak velká. Pokud by se elektromobily začaly vyrábět v tak velkých sériích jako nynější automobily s výbušnými motory a celý vývoj automobilového průmyslu by se věnoval jejich zlepšování, jistě by se parametry elektromobilu podstatně zlepšily. Pesimisté a odpůrci elektromobilu poukazují na malý dojezd a velkou hmotnost baterií, které musí elektromobil vozit. Také počáteční pořizovací cena v porovnání s klasickým automobilem je vyšší. Světové zásoby olova jsou konečné, těžba je nyní na hranicích únosnosti a podstatným zvýšením poptávky po něm by patrně jeho cena prudce vzrostla. Významnou překážkou jsou i potíže s dobíjením akumulátorů, které trvá v porovnání s běžným tankováním pohonných hmot příliš dlouho. Výměna nabitých akumulátorů za vybité je sice možná, ale má také své úskalí. Akumulátory mají velkou cenu a poměrně krátkou dobu života. Je možné, že uživatel by neměl k takové vý-

méně důvěru pro riziko, že výměnou dostane akumulátory již značně opotřebované. Jiné druhy chemických zdrojů pro elektromobil jsou buď příliš drahé nebo nevhodné. Palivové baterie se např. dají použít pouze ve spojení s akumulátory. Pro tyto a mnoho dalších podstatných příčin zatím žádný výrobce automobilů neplánuje v dohledné době velkosériovou výrobu osobních elektromobilů.

Elektrochemické zdroje mají zpravidla menší dobu života než zařízení, jehož jsou součástí. Musí se tedy častěji vyměňovat, což vedlo již zpočátku ke snaze tyto výrobky normalizovat jak v národním, tak celosvětovém měřítku. Normy a předpisy určují článkům a akumulátorům zejména vnější rozměry, tvar a způsob provedení vývodů elektrod, zkušební metody, měřicí metody, u akumulátorů např. i složení elektrolytu atd. Normy z oboru elektrochemických zdrojů vycházejí jako československé státní normy ČSN s šestimístním **označením**. Tyto normy jsou zařazeny v jednotném systematickém **třídění norem** do třídy 36 Elektrotechnika (ČSN 36....). Skupina 41 Primární články a baterie (ČSN 36 41..), skupina 43 Akumulátory (ČSN 36 43 ..). Výjimku tvoří Mezinárodní Westonův článek, který je zařazen do třídy 35 Elektrotechnika, skupiny 64 Etalony, dekády, můstky apod. (ČSN 35 6402). Tak např. plochá baterie pro kapesní svítilny má normu ČSN 36 4172. Mezinárodní normalizace v oblasti elektrotechniky je soustředěna do Mezinárodní elektrochemické komise, označené zkratkou IEC (International Electrotechnical Commission). Výsledkem práce této komise jsou mezinárodní doporučení, která se pak zpětně promítají v jednotlivých národních normách. Poměrně dobře je již provedena normalizace suchých galvanických článků a startovacích olověných akumulátorů.

I. ZÁKLADNÍ BEZPEČNOSTNÍ PŘEDPISY

Při stavbě a používání nabíječů se musíme řídit platnými předpisy a normami. Jsou to zejména:

Vyhláška MPE č. 95/1961 Sb., o podmínkách odborné způsobilosti pro provádění a řízení montáže a údržby elektrických zařízení

- ČSN 34 1010 — Ochrana před nebezpečným dotykem
- ČSN 34 3800, 34 3801, 34 3810, 34 3880 - Revize elektrických zařízení
- ČSN 34 3100 — Pracovní a provozní předpisy pro elektrická zařízení
- ČSN 34 3101 — Předpisy pro elektrická vedení
- ČSN 34 3102 — Předpisy pro elektrické stroje
- ČSN 34 3103 — Předpisy pro elektrické stroje a rozváděče
- ČSN 34 3104 — Předpisy pro elektrické provozovny
- ČSN 34 3105 — Předpisy pro zkušební prostory
- ČSN 34 0070 — Druhy prostředí a podkladů pro elektrická zařízení
- ČSN 34 0110 — Předpisy pro krytí elektrických předmětů
- ČSN 34 0160 — Předpisy pro označení pólů, svorek fází a vodičů
- ČSN 34 0165 — Předpisy pro označení holých a izolovaných vodičů barvami nebo číslicemi
- ČSN 34 0350 — Předpisy pro pohyblivé přívody
- ČSN 34 1020 — Všeobecné předpisy pro dimenzování a jištění vodičů
- ČSN 34 1030 — Předpisy pro montáž elektrických přístrojů a svítidel
- ČSN 34 1035 — Předpisy pro montáž elektrických přístrojů a akumulátorů
- ČSN 34 1040 — Všeobecné předpisy pro elektrická rozvodná zařízení
- ČSN 34 1060 — Elektrický silový proud v budovách pro bydlení a v budovách občanské výstavby
- ČSN 34 1080 — Předpisy pro zařízení s odbornou obsluhou
- ČSN 34 1090 — Předpisy pro prozatímní elektrická zařízení
- ČSN 65 0201 - Garáže

Kromě těchto předpisů existují ještě předpisy pro stavbu a vybavení akumulátorovny a pracoviště pro opravy akumulátorů.

Některé základní bezpečnostní předpisy jsme z uvedených norem a vyhlášek vypsali a zkráceně je v této kapitole uvádíme.

1. Ochrana před nebezpečným dotykem

Z hlediska vlivu prostředí na elektrické zařízení rozlišujeme prostory:

a) Bezpečné, tj. suchý prostor s nevodivým prachem, kde se nebezpečí úrazu elektrickým proudem zmenšuje na minimum. Z hlediska ČSN 34 0070 může být bezpečným prostorem i prostor obsahující výbušné nebo hořlavé látky, rozhodující je pouze elektrická izolační schopnost.

b) Nebezpečné, tj. takové prostory, kde okolní prostředí zmenšuje kvalitu izolace a tím přechodně nebo trvale zvětšuje nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Jsou to prostory s prostředím horkým, trvale nebo přechodně vlhkým, s vodivým okolím, s vodivým prachem a s Živým prostředím, s otřesy, s prostředím venkovním a s nebezpečím mechanického poškození.

c) Zvlášť nebezpečné, tj. prostory, kde je značné nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Jde zejména o prostory mokré.

Pro zvlášť nebezpečné prostory, kde je nebezpečí úrazu velké nebo kde se pracuje ve ztížených podmínkách, stanovují předpisy zvláštní způsoby ochrany. Jde zejména o práci přímo ve vodě, v kotlích, v nádržích apod.

Za bezpečné napětí z hlediska dotyku považujeme napětí:

v prostorách bezpečných střídavé napětí do 50 V nebo stejnosměrné napětí do 100 V;

v prostorách nebezpečných střídavé napětí do 24 V nebo stejnosměrné napětí do 60 V;

v prostorách zvlášť nebezpečných střídavé napětí do 12 V nebo stejnosměrné napětí do 24 V.

Rozumí se napětí proti zemi u uzemněné rozvodné soustavy, nebo se zde uvažuje napětí mezi krajními vodiči. U stejnosměrných napětí je přípustné zvlnění maximálně 10%.

Za bezpečný proud se považuje stejnosměrný proud 25 mA, u zdroje střídavého napětí s kmitočtem 10 až 1000 Hz proud 10 mA. Rozumí se tím celkový proud, který projde lidským tělem při náhodném dotyku napětím. Je-li nebezpečí, že lze přijít do styku s vyšším dotykovým napětím a může-li projít lidským tělem větší proud než bezpečný, je třeba živé části chránit některou z předepsaných ochranných opatření: polohou, zábranou, krytím a izolací. Nelze-li použít žádnou z uvedených ochranných opatření, předepisuje norma ještě jedno řešení, tzv. ochranu doplňkovou izolací.

Ochrana před nebezpečným dotykem se nemusí provádět, je-li napětí živých částí bezpečné a jsou-li splněny podmínky: napětí vestavěného zdroje je nižší než bezpečné, primární napětí vestavěného

zdroje není vyšší než 500 V a zdroj má galvanicky oddělené obvody, které vyhovují požadavkům na zvýšenou izolaci, čímž se rozumí např. ochranný bezpečnostní transformátor.

Z hlediska velikosti rozlišuje norma tato napětí:

- malé napětí (mn) do 50 V (proti zemi)
- nízké napětí (nn) od 50 V do 300 V (proti zemi)
- vysoké napětí (vn) od 300 V do 38 000 V (proti zemi)
- velmi vysoké napětí (vvn) od 38 000 V výše (proti zemi)

Pevné zásuvky a připojování spotřebičů pomocí pohyblivých přívodů v obvodech nízkého napětí

Pevné zásuvky v rozvodech nn musí mít vždy ochranné kontakty (kolíky). V prostorech bezpečných lze používat vidlice i bez ochranného kontaktu. Ochranný kontakt musí být spojen vždy s ochrannou soustavou. Zásuvky musí být instalovány tak, aby ochranný kontakt byl směrem nahoru, v levé zdírce musí být připojen fázový vodič, v pravé nulovací vodič. Při ochraně nulováním se musí nulovací vodič připojit vždy nejdříve na svorku ochranného kontaktu — kolíku. Zásuvky pro malé a nízké napětí nesmějí být záměnné.

Pohyblivý přívod bez ochranného vodiče s vidlicí bez ochranného kontaktu, hodící se pro zásuvky s ochranným kolíkem, smí být v rozvodu nízkého napětí použit jen k připojení elektrických přenosných předmětů třídy II (viz dále) a předmětů jim z hlediska bezpečnosti rovnocenných. Pohyblivý přívod s ochranným vodičem a vidlicí s ochranným kolíkem se používá k připojení elektrických spotřebičů a předmětů třídy I. Ochranný vodič uvnitř spotřebiče a předmětu musí být připojeny na zdířku kolíku vidlice a na kostru chráněného elektrického předmětu. U pohyblivých přívodů trojfázových, u nichž je potřebná tzv. pracovní nula a u nichž je použita ochrana zemněním, je třeba použít pětižilové přívodní vodiče. Tři vodiče fázové se připojují k vidlici na svorky značené L1, L2, L3 (dříve R, S, T)). Pracovní nulovací vodič barvy modré se připojí na svorku PE a ochranný vodič (barva zelená/žlutá) se připojí na svorku PEN.

Rozdělení elektrických předmětů do tříd

Do tříd se rozdělují elektrické předměty podle toho, jakou vyžadují ochranu před nebezpečným dotykem.

Předmět třídy 0 má všude alespoň pracovní izolaci nebo kovový kryt oddělený od elektrické části jen pracovní izolací. Takový předmět není bezpečný proti nebezpečnému dotyku, nelze k němu však připojit ochranný vodič. Bývá chráněn hlavně polohou nebo zábranou, a proto musí být pevně umístěn a pevně připojen.

Předmět třídy I musí mít zařízení pro připojení ochranného vodiče bez ohledu na druh izolace nebo jmenovitého napětí.

Předmět třídy II nemá vůbec žádné zařízení pro připojení ochranného vodiče, protože je před dotykem dokonale chráněn dvojitou nebo alespoň zesílenou izolací.

Předmět třídy III se smí připojit jen ke zdroji malého napětí a nepotřebuje tedy žádnou další ochranu.

Druhy ochrany

Ochrana polohou

Ochrana elektrického předmětu polohou spočívá v takovém umístění živých částí zařízení, že bez použití pomůcek je dotyk s nimi vyloučen. Minimální vzdálenosti, které je třeba dodržet, jsou závislé na druhu zařízení, na provozním napětí a na kvalifikaci osob majících k zařízení přístup. Jejich umístění je současně závislé i na druhu prostoru, ve kterém je elektrický předmět umístěn (venku, uvnitř budovy apod.).

V prostorech, kam mají přístup osoby neznalé, musí být živé části elektrických předmětů s nízkým a vysokým napětím vzdáleny od místa možného dotyku nejméně 3 m a do výšky nejméně 5 m. V prostorech, kam mají přístup jen osoby poučené, musí být minimální výška ve vnitřních prostorech 2,5 m, venku 2,7 m. V horizontálním směru je třeba dodržet vzdálenost alespoň 1,25 m (u zařízení do 1 kV).

Ochrana zábranou

Ochrana zábranou spočívá v zabránění nebo znemožnění dotyku živých částí zařízení, popřípadě v zabránění přiblížení se živým částem elektrických předmětů. Zábrana není součástí elektrického předmětu.

V prostorech přístupných osobám neznalým se provádí zábrana uzamčeným nebo neodnímatelným ohrazením, oplocením nebo mříží, dostatečně pevnou. Výška a vzdálenost zábrany je stejná jako při ochraně polohou. Pouze v prostorech, kam mají přístup osoby alespoň poučené, lze provádět zábranu tak, že je snadno odnímatelná. Může to být např. pouze zábradlí, provaz, tyč, mříž, plot. Vzdálenost v takovém případě musí vyhovovat ČSN 34 1040.

Ochrana krytím

Ochrana krytím je konstrukční opatření, tvořící součást elektrického předmětu. Může to být kryt, víko nebo jiná část elektrického předmětu. U továrně vyráběných elektrických předmětů se stupeň krytí vyznačuje na typovém štítku mezinárodně platnou značkou. Značku tvoří písmena IP a dvojčíslí. První číslice může být 0 až 6, přičemž příslušná číslice značí:

- 0 předmět bez ochrany (bez krytí),
- 1 ochrana proti vniknutí předmětů větších než 50 mm (dlaň),
- 2 ochrana proti vniknutí předmětů větších než 12,5 mm (prst),
- 3 ochrana proti vniknutí předmětů větších než 2,5 mm (nástroj),
- 4 ochrana proti vniknutí předmětů větších než 1 mm,
- 5 ochrana proti vniknutí jakýchkoli předmětů,
- 6 prachutěsný předmět.

Druhá číslice značí stupeň odolnosti: elektrického předmětu před vnikáním vody. Může být 0 až 8, přičemž příslušná Číslice značí:

- 0 předmět bez ochrany,
- 1 ochrana proti kapalině srážené v kapkách,
- 2 ochrana proti kapající vodě,
- 3 ochrana proti šikmo dopadající vodě (déšť),
- 4 ochrana proti stříkající vodě,
- 5 ochrana proti tryskající vodě,
- 6 ochrana při zaplavení,
- 7 ochrana při ponoření,
- 8 ochrana při ponoření a při kapalině pod stanoveným tlakem.

Předmět, který nemá žádné krytí, je tedy označen IP 00, nejlépe krytý předmět má stupeň IP 68.

Kryt musí být samozřejmě mechanicky pevný a odolávat vlivům daného prostředí.

Ochrana izolací

Ochrana izolací spočívá v zabezpečení živých částí takovou izolací, která znemožní nebezpečný dotyk živých částí zařízení. Smaltování, lakování, vrstvy kyslíčnicků a obaly z vláknitých hmot (i když jsou napuštěny různými roztoky) se nepovažují za izolaci ve smyslu ochrany před nebezpečným dotykem.

Normy z hlediska ochrany vyžadují podle velikosti napětí a prostoru, ve kterém má být elektrický předmět provozován, izolaci dvojíou, zesílenou a zvýšenou.

Ochrana doplňkovou izolací

Ochrana doplňkovou izolací spočívá v umístění elektrického předmětu na izolačním stanovišti, v použití dodatečných ochranných pomůcek, jako jsou dielektrické rukavice, vypínací tyče, galoše apod. Doplňková izolace se používá v prostorech, do nichž mají přístup pouze osoby poučené.

Ochrany používající ochranný vodič

Ochranný vodič vyžadují ochrany nulováním, zemněním, chráničem napětovým i proudovým a pospojováním. Aby se ochranný vodič neuvolnil, neoxidoval nebo aby popřípadě nepřivedl na chráněný předmět nebezpečné dotykové napětí tím, že by se náhodně dostal do styku s jiným vodičem, u něhož je proražena izolace, platí pro ochranný vodič tyto hlavní zásady: V obvodu ochranného vodiče nesmí být ani vypínač, ani pojistky. Počet spojů vodiče musí být pokud možno minimální, spoje musí být zajištěny před samovolným uvolněním. Pro ochranný vodič jsou předepsány minimální průřezy a způsob uložení. Proti jeho záměně s jiným vodičem je předepsáno barevné značení. Pro ochranný vodič je stanoveno deset podmínek:

- a) ochranný vodič musí být chráněn před možností poškození a vzdorovat vlivům prostředí;
- b) ochranný vodič se musí rozpojovat současně se všemi ostatními živými přívody. U zásuvek se musí rozpojovat později než ostatní vodiče;
- c) všechny spoje ochranného vodiče a především spoje s náhodným vodičem musí být prokazatelně dobře vodivé. Ochranný vodič lze spojovat svařováním, pájením, šroubováním a nýtováním. V zásuvkách se používají spoje zdířkové. Za spoj z hlediska normy se považuje i otočný závěs kovových dveří a kovového víka, styk kol s kolejkami, kovová valivá ložiska, připojení ke kovové konstrukci šroubem apod.;
- d) ochranný vodič musí mít barvu zeleno/žlutou;
- e) ochranný vodič jako svod k zemniči musí mít zkušební svorku a musí být chráněn proti mechanickému poškození;
- f) Jako ochranný vodič vyhoví také náhodný vodič, což je např. tra-verza, kovové potrubí, kovová konstrukce budovy nebo např. i vodovod. Při připojení ochranného vodiče na vodovod musí být vodovod překlenut. Pro připojení ochranného vodiče na vodovod platí norma ČSN 35 7705;
- g) jako ochranný vodič lze použít i kovový plášť kabelu, pokud je chráněn proti korozi, má předepsaný průřez a nehrozí nebezpečí bludných proudů. Ochranný vodič může být někdy současně i vodičem pracovním. V případě, že není vodičem pracovním, může být holý;

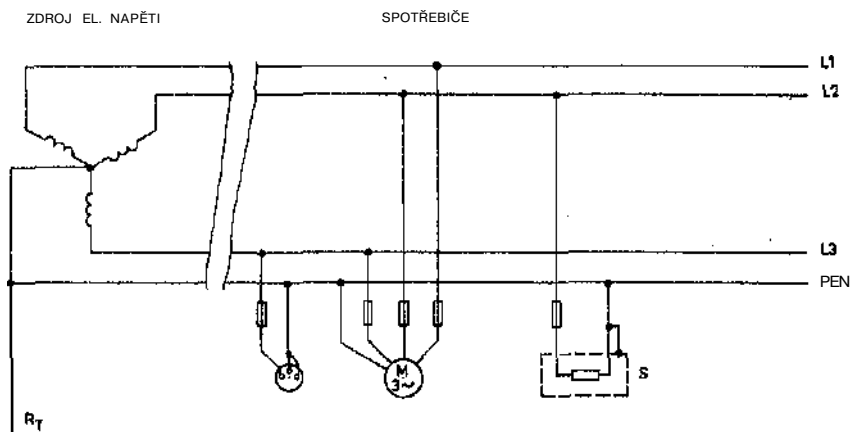
h) kde je z provozních důvodů nutné pravidelně měřit izolační odpor, nesmí se pracovní nulovací vodič použít zároveň jako ochranný vodič;
 i) u pohyblivého přívodu musí být ochranný vodič vždy společně v jedné šňůře s ostatními vodiči. Výjimku může tvořit pouze takový ochranný vodič, který slouží pro společné pospojování elektrických předmětů;

j) ochranný vodič se připojuje ke svorce označené zemnicí značkou. Má-li elektrický předmět několik izolovaných kovových částí, spojují se mezi sebou jedním vodičem zakončeným na zemnici svorce. Zemnicí svorka nesmí být umístěna na snímatelné části elektrického předmětu.

Jako náhodný ochranný vodič se nesmí používat zábradlí, žebříky, ploty, nosné napínací dráty a všechny konstrukce, které mohou být snadno kdykoli rozebrány nebo odstraněny.

Ochrana nulováním

Princip ochrany spočívá v tom, že všechny neživé části spotřebiče (včetně např. krytu) musí být spojeny s nulovacím vodičem, spojeným s nulovým bodem zdroje (obr. 1). Dostane-li se z vadné části



Obr. 1. Ochrana nulováním

elektrického předmětu elektrické napětí do styku s neživou vodivou částí, uzavře se proudová smyčka o malém odporu a vzniklý proud přetaví pojistku v přívodu a tím celý nebezpečný okruh rozpojí. K spolehlivé funkci této ochrany je nutné zajistit, aby zásady platné

pro ochranný vodič, uvedené v předchozí kapitole, byly dodrženy, a uvědomit si, že impedance vypínací smyčky musí být tak malá, aby proud vzniklý v obvodu spolehlivě a včas přetavil nejbližší předřazenou pojistku. V tomto případě norma předepisuje velikost a druh pojistky. Zároveň je nutné dbát, aby zemní odpor pracovního uzemnění nulového bodu byl v toleranci stanovené normou. Zemní odpor nemá být větší než 5 R. Výjimečně se povoluje větší v místech, kde nelze tohoto odporu provozně dosáhnout, ale nikdy nemá být větší než 15 R. Celkový zemní odpor vodičů vycházejících z transformační stanice nesmí být větší než 2 R.

Zvláštní předpis pro kontrolu zemního odporu platí pro případ, je-li společné zemnění předmětů nn a vn napětí.

V některých případech je nutné nulovací vodič (popř. náhodný nulovací vodič) uzemnit nebo spojit s uzemňovací soustavou mimo uzel zdroje.

Je to zejména: u vrchního vedení každých 500 m nebo u odboček na konci vedení delších než 200 m; u konce kabelového vedení delšího než 200 m; u odběrové skříně (např. i domovní), je-li vzdálena od nejbližšího místa uzemnění více než 100 m; v místech, v nichž se kladou na ochranu před dotykem zvláštní nároky (prostory nebezpečné a zvláště nebezpečné); u objektů s vlastním transformátorem.

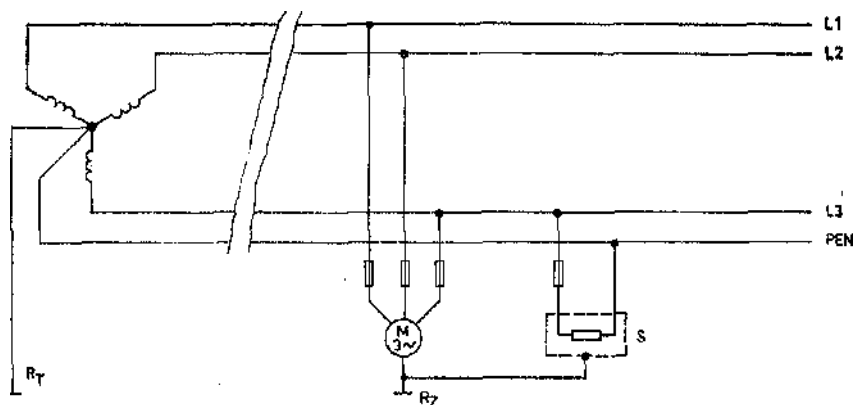
Jednotlivá uzemnění nulovacího vodiče sítě nemají mít odpor větší než 15 R. Na koncích vedení a odboček nejvýše 5 R. Vyskytnou-li se v obvodu rozvodné sítě zvláště dobrá uzemnění, např. kovové konstrukce budov, vodovodní potrubí apod., musí být spojena s nulovacím vodičem. Průřezy nulovacích vodičů jsou normovány.

Odhadem pro první přiblížení lze říci, že u chráněných vodičů hliníkových do průřezu 25 mm² má ochranný vodič stejný průřez jako vodiče pracovní.

Ochrana zemněním

Ochrana zemněním spočívá ve spojení neživých vodivých součástí elektrického předmětu se zemí. Země se používá ke zpětnému vedení poruchového proudu k uzlu zdroje.

V sítích s ochranou zemněním se nesmějí neživé součásti elektrických předmětů připojovat na nulovací vodič. Také je zakázáno oba způsoby kombinovat. Princip ochrany zemněním je na obr. 2. Jako doplňkových ochran se používá napěťových, popřípadě proudových chráničů.



Obr. 2. Ochrana zemněním

Ochrana pospojováním

Podstata ochrany spočívá v propojení všech neživých vodivých součástí zařízení se zemí a mimoto se vodivě spojí se všemi kovovými vodivými částmi v okolí.

Ochrana oddělením obvodů

Podstata této ochrany spočívá ve vytvoření dokonale izolačně odděleného proudového obvodu od obvodu rozvodné sítě pro jeden spotřebič. Pracovní obvod jednotlivého spotřebiče oddělíme od rozvodné sítě ochranným transformátorem s dvojitou izolací. Tím dostaneme vlastní izolovaný rozvod s nepatrným kapacitním a svodovým proudem, takže vznik nebezpečného zemnicího proudu je vyloučen. Této ochrany lze použít jen v sítích do 500 V. Sekundární napětí ochranného transformátoru nesmí překročit 380 V, spotřebič může odebírat proud nejvíce 16 A. Sekundární obvod transformátoru se již nesmí spojit s žádným ochranným vodičem ani se zemí.

Je-li chráněný předmět připojen ke zdroji prostřednictvím zásuvky, musí mít zásuvka ochranný kolík, který nesmí být nikam připojen.

Je-li takto např. připojena vrtačka, kterou se vrtá do uzemněné konstrukce, má být spojena kostra vrtačky s konstrukcí.

Ochrana bezpečným napětím

Podstata této ochrany spočívá v tom, že elektrický předmět neužívá jiné napětí než bezpečné a ani při chodu naprázdno se toto napětí nezvýší. Lze jej získat z oddělovacího snižovacího transformátoru s dobrou

(zkoušenou) izolací, % nezávislých zdrojů, jako jsou baterie, generátory apod. Baterie se pak nesmějí při provozu dobíjet kromě případu, že i napětí nabíječe je bezpečné. Při použití tohoto způsobu ochrany se musí dodržet tyto zásady: kovové pláště předmětů v sekundárním obvodu se nesmějí spojit s neživými částmi předmětů obvodu primárního; vidlici na straně bezpečného napětí nesmí být možno vsunout do normalizované zásuvky nn. Při práci v kotlích, kovových nádržích apod. se musí transformátor umístit vně nebezpečného nebo zvlášť nebezpečného prostoru. V prostorách zvlášť nebezpečných se nesmějí ani kostry předmětů, chráněných malým napětím, dostat do styku s uzemňovací soustavou, s nulovacím vodičem nebo zemí.

Všechny typy ochrany lze vzájemně kombinovat. Normy rozeznávají i termín zvýšená ochrana, který spočívá právě v kombinaci dvou nebo více ochrany v případě, že jedna ochrana v určitém prostoru nepostačuje. Jak již bylo uvedeno, jediným omezením je zákaz kombinace ochrany nulováním a ochrany zemněním.

Izolační odpor elektrických předmětů a elektrických rozvodů

Izolační odpor rozvodů a elektrických předmětů se považuje za důležitý ukazatel jakosti. Jeho stálá velikost zaručuje bezpečnost provozu a naopak zmenšující se velikost ukazuje na zhoršující se stav. Proto normy věnují izolačnímu odporu a jeho měření, včetně revizí elektrických předmětů, značnou pozornost.

Izolační odpor elektrického předmětu a elektrického vedení používajících napětí do 1000 V má být (u vedení se rozumí alespoň úsek za poslední pojistkou, popř. úsek mezi dvěma pojistkami) minimálně 1000 R na 1 V provozního napětí. V prostorech nebezpečných a zvlášť nebezpečných, kde je zvýšená vlhkost nebo agresivita prostředí (jsou to např. akumulátorovny, průmyslové prádelny, pivovary, prostor venku na dešti atd.), nejde technicky předepsaný izolační odpor zajistit. V těchto případech, za předpokladu, že elektrický předmět má zvýšenou ochranu, se povoluje výjimka a izolační odpor může být menší, minimálně však 50 R na 1 V provozního napětí. U dosud nevyšlých novostaveb může být izolační odpor elektrického rozvodu do 50 R na 1 V provozního napětí za toho předpokladu, že při měření o půl roku později se naměří odpor alespoň 1000 R na 1 V provozního napětí.

Venkovní vedení do 1000 V musí mít za vlhkého počasí izolační odpor alespoň 24 000 R na 1 km délky.

U elektrických předmětů se odpor 1000 R na 1 V provozního napětí myslí samozřejmě při provozní teplotě. Předpokládá se, že u točivých

strojů je izolační odpor za studena alespoň pětikrát lepší a u transformátorů a netočivých strojů alespoň třikrát lepší.

Izolační odpory se měří před uvedením každého elektrického předmětu do provozu a dále podle ČSN 34 3800 při pravidelných periodických revizích.

Pro měření izolačního odporu je třeba zvolit takovou měřicí metodu, při níž je měřicí napětí stejné jako provozní napětí elektrického předmětu. Minimální stejnosměrné napětí má být alespoň 100 V. Izolační odpor se má zjišťovat až po minutě od přiložení měřícího napětí. U nových zařízení se měří izolační odpor vodičů proti sobě i vodičů proti zemi. Izolační odpor vodičů a Částí spojených provozně se zemí se neměří.

U bytového i jiného elektrického rozvodu se izolační odpor měří při všech zapnutých vypínačích a připojených svítlidlech, které však mají vyjmuty žárovky, popř. zářivky.

Při periodických revizích elektrických předmětů v soustavách s izolovaným uzlem do 1000 V se měří pouze izolační odpor vodičů proti zemi.

Za řádný stav, bezpečnostní opatření a revizní prohlídky zodpovídá provozovatel elektrického zařízení. Pravidelné revize u provozovatele provádí revizní technik, který vyhovuje svou kvalifikací podmínkám určeným normou (ČSN 34 3800, 34 3810, 34 3880 a 38 0610). Toto se pochopitelně týká velkých závodů a provozů. V bytech a malých provozech musí udělat výchozí, tj. první revizi před uvedením do provozu zřizující elektrotechnický závod nebo elektrotechnická složka stavebního podniku. Provozovatel podá přihlášku k připojení svého elektrického rozvodu na veřejnou síť a na základě této přihlášky kontrolní oddělení okresní správy rozvodného podniku povolí připojení elektrického zařízení. Přihláška musí být potvrzena odborným elektrotechnickým závodem evidovaným u rozvodného podniku, který elektrický rozvod provedl, popřípadě zrevidoval. Další prohlídky provádí zaměstnanec elektroměrné služby při změnách podmínek odběru elektrické energie (změní-li se odběratel). V malých závodech a provozovnách, kde není revizní technik, může elektrotechnické zařízení revidovat komunální podnik, se kterým provozovatel uzavře smlouvu o údržbě.

2. Zásady elektrického rozvodu

Pojistky a jištění elektrických předmětů

Pojistky nebo jističe, popřípadě jistící relé, se mají volit tak, aby byly splněny tyto podmínky:

- a) Jádro jištěného vodiče nebo kabelu se nemá při zkratu nebo nebezpečném zatížení přehřát. Velikost tavné pojistky se určí z tabulek vzhledem k materiálu a průřezu jištěného vodiče.
- b) Při normálním provozu musí jističí prvky působit jen Žádoucím způsobem.
- c) Jističí prvky mají při svém působení pokud možno odpojit pouze poškozenou část zařízení.

Pojistky jsou podle jmenovitého proudu děleny do tzv. pojistkových stupňů. Rada jmenovitých pojistkových stupňů u tavných pojistkových vložek: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 630, 800, 1000 A. Výpočty a návrhy pojistek a jištění jsou uvedeny v ČSN 38 0411 a ČSN 38 1754.

Pojistka nebo jistič musí bezpečně vypnout zkratový proud v místě svého umístění. Teprve druhotným úkolem je jistit stroje, přístroje nebo jiné spotřebiče, připojené na vedení. Jen takzvané motorové jističe, nastavené na jmenovitý proud motoru, jistí především motor a teprve potom přívod k němu.

Normy dovolují jistit kabel nebo vedení pouze proti zkratu tehdy, je-li na svém konci u spotřebiče jištěn před přetížením a vlastnosti spotřebiče zaručují, že vodič nemůže být přetížen. V takovém případě se povoluje volba vyšších stupňů pojistek — až třikrát vyšší stupeň než při běžném jištění proti přetížení.

Pojistky se v elektrickém rozvodu umísťují všude tam, kde by již předchozí jištění nevyhovovalo (podle tabulky) dalšímu zmenšenému průřezu vodičů. Je to tedy zejména v místech změny, zeslabení průřezu vodiče nebo při odbočení s menším průřezem. Není-li možné splnit zásadu, že umístíme pojistku hned u odbočení, lze pojistku umístit dále, ale musí se až k pojistce vést vodič s původním průřezem (až 3 m od místa odbočení).

Spojovací vedení mezi akumulátory a příslušným rozváděčem i vedení k vodičům akumulátorů se může jistit až na konci vedení v rozváděči za předpokladu, že rozváděč je umístěn v místnosti přiléhající k akumulátorovně a spojovací vedení v této místnosti není delší než 10 m. Toto vedení však musí vyhovět dynamickým účinkům zkratových proudů. Vedení musí být uložena tak, aby při zkratu nemohl vzniknout požár.

Jištění lze vynechat v těchto případech:

- a) Na počátku vedení a v místě, kde se průřez zmenšuje, jestliže předřazená pojistka jistí i vedení o menším průměru;
- b) spojovací vedení nn mezi transformátorem a jeho pojistkou se nejistí, je-li vedení z holých pásů a vyhovuje tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů, nebo je-li kabelové vedení do délky 30 m a uložené mimo budovu;
- c) vedení v obvodech sekundárního vinutí měřicích a jističích transformátorů;
- d) sekundární obvody nabíječů akumulátorů, svářeček, metalurgických zařízení. Důvodem je značné proudové namáhání. Vodiče však musí být dostatečně dimenzovány;
- e) v bytových rozvodech nejistíme každou zásuvku zvlášť, pokud je jištěn celý zásuvkový obvod;
- f) nemusí se jistit vedení mezi generátorem a rozváděčem, pokud vedení vydrží zkratový proud do doby, než se generátor odbudí.

Jištění zásuvkových a světelných rozvodů

Několik odboček elektrického vedení vnitřního světelného i zásuvkového obvodu může mít společné jištění, pokud jím jsou tato vedení jištěna před přetížením.

Jsou-li na rozvodné vedení, jištěné před přetížením, připojeny odbočky určené pouze pro jednotlivé, trvale připevněné spotřebiče, které mohou být v provozu přetíženy (např. svítidla apod.), mohou být tyto spotřebiče připojeny pohyblivým příívodem k pevnému rozvodu. Odbočky k takovýmto spotřebičům nebo odbočky k zásuvkám a pohyblivé příívody k těmto spotřebičům mohou být jištěny pouze před zkratem (mimo prostředí s nebezpečím požáru a výbuchu).

Nejistí se střední a ochranný vodič, je-li použit jako nulovací, uzemňovací nebo chráničový. Musí vyhovět účinkům zkratových proudů po dobu, než je zkrat pojistkou odpojen. U stávajících zařízení, kde je možná záměna středního vodiče s fázovým, musí se střední vodič jistit.

Normy nedovolují žádné opravy vložek tavných pojistek. Vložky se smějí opravovat pouze ve výjimečném případě specializovanými závodů. Jakákoliv amatérská oprava tavné vložky pojistky není dovolena.

Přetavené vložky tavných pojistek se vyměňují v elektrickém obvodu při odpojení zatížení a (pokud to lze) i bez napětí. U jističů se doporučuje (při jejich opětovném zapnutí po výpadku) odpojovat zátěž.

Vypínání spotřebičů

Všechny pracovní obvody spotřebičů se musí dát spolehlivě vypnout. U drobných spotřebičů připouštějí normy skupinové vypínání. Jestliže by jiné než napájecí vedení zavedlo na přístroj větší napětí než bezpečné (např. signalizační napětí, ovládací napětí atd.), musí se zároveň s napájecím napětím odpojovat i toto vedení. V rozvodném zařízení musí mít jednotlivé odpojitelné větve vlastní vypínač, pojistku a odpojovač. U zařízení nn může pojistka nahradit odpojovač.

Malé přenosné spotřebiče je možné vypínat také pouhým vytažením vidlice ze zásuvky.

Jednopolové vypínače jsou dovoleny pouze v obvodech s pevným nezaměnitelným přívodem, v bezpečném prostředí. Musí být zaručeno, že se jednopolovým vypínačem nevypíná ochranný nebo nulovací vodič. Spínače a vypínače volíme podle velikosti spínaného proudu a napětí. Spínače musí odpojovat u spotřebiče všechny body s napětím proti zemi.

Pohyblivé přívody a šňůry

Pohyblivé přívody musí být připojeny na pevný rozvod pouze pomocí zásuvky a vidlice. Pouze výjimečně, kdy stanoviště elektrického předmětu se nebude měnit, je možné pohyblivý přívod připojit na pevný rozvod pomocí rozvodky. Předměty s kovovým krytem musí být připojeny přívodem obsahujícím ochranný vodič.

K mechanické ochraně pohyblivých přívodů se nesmějí používat kovové hadice bez izolační vložky.

Pohyblivé šňůry a přívody se nesmějí prodlužovat žádným jiným způsobem než zásuvkou a vidlicí. Zejména jsou zakázána všelijaká amatérská spojování dvou šňůr nebo přetržené šňůry.

Zásuvky

Zásuvky bez ochranného kolíku nejsou dovoleny. Instalují se v bezpečných prostorech nekryté nejméně 20 cm od podlahy tak, aby přívodní šňůry zapojených spotřebičů nepřekážely a nepoškozovaly se. Do podlahy se smějí montovat zásuvky chráněné před mechanickým poškozením.

Zásuvky nad 3 kW vypínaného výkonu, tj. 250 V/15 A musí být tzv. blokové, obsahující vnitřní vypínač, u nichž lze vytáhnout vidlici jen tehdy, je-li vypnut proud.

Zásuvky do jiných než bezpečných prostorů musí být speciálně uzpůsobeny.

Montáž a umístění elektrických spotřebičů

Elektrické spotřebiče mají být vždy snadno přístupné, nemají se umisťovat do nepřístupných těsných prostorů. Teplo nesmí ohrožovat okolí. V místnostech s vlhkou podlahou nesmí být pohyblivý přívod trvale na podlaze nebo v kapalném prostředí.

Spotřebiče, které přicházejí do styku s částmi lidského těla, nesmějí být na napětí větší než 250 V. Kovové části musí být od lidského těla odděleny dvojitou izolací nebo musí být celý přístroj napájen napětím jen 50 V přes oddělovací transformátor.

Hračky mohou mít maximální napětí 24 V. Části, na nichž je napětí větší než 50 V proti zemi, musí být chráněny krytem proti samovolnému dotyku. Kryt musí být možno sejmout pouze nástrojem.

Elektrické ruční nářadí může v provozu pracovat s napětím až do 250 V proti zemi. Nemá-li dvojitý izolační kryt, musí mít pracovník ochranné pryžové rukavice. Pro nebezpečné prostředí má být elektrické nářadí na malé napětí.

Akumulátorovny

Akumulátorovna musí být zřízena, mají-li baterie větší napětí než 65 V a výkon větší než 500 VA. Akumulátorovna musí být oddělená, dobře větraná místnost, temperovaná, chráněná proti vnikání prachu a nečistot. Dveře akumulátorovny musí být označeny bezpečnostními tabulkami.

Při práci v akumulátorovně musí být přerušeno nabíjení. Pracovníci musí používat ochranných pomůcek, jako jsou pryžové zástěry, rukavice, brýle vzdorující kyselině, pryžová obuv a podlaha má mít izolační podložku.

Ruční nářadí musí mít izolované rukojeti. Je zakázáno používat delší kovové předměty, např. kovová měřítka apod.

V akumulátorovně musí být vyvěšeny bezpečnostní předpisy, požární a poplachové směrnice a návod k obsluze akumulátorů.

Garáže

Platí norma ČSN 65 0201, která jednotlivé garáže s prostorem pro maximálně tři dvoustopá vozidla řadí mezi prostory s nebezpečím požáru; společné garáže pro více vozidel jsou zařazeny mezi prostory s nebezpečím požáru a výbuchu. Také dílny pro opravy vozidel jsou prostory s nebezpečím požáru. Veškeré elektrické rozvody a používané elektrické předměty v těchto prostorech musí být vzhledem k této skutečnosti uzpůsobeny.

Značení izolovaných vodičů

Stejnoseměrný rozvod

+	kladný pól	vodič barvy červené
—	záporný pól	vodič barvy tmavě modré
M (N)	střední vodič	vodič barvy světle modré

Jednofázový rozvod

fázový nebo krajní vodič	Černá, popř. hnědá barva
ochranný vodič	zeleno/žlutá barva
střední vodič	světle modrá barva

Trojfázový rozvod

L1 (R) 1. fáze	černá, popř. hnědá barva
L2 (S) 2. fáze	černá, popř. hnědá barva
L3 (T) 3. fáze	Černá, popř. hnědá barva

Střední a ochranný vodič jsou označeny stejně jako u jednofázového rozvodu

Pro značení vodičů platí norma ČSN 34 0165 ze dne 21. 7. 1972.

Dříve platná norma předepisovala zejména pro značení ochranného vodiče zelenou barvou. Zelenou barvu lze u dosavadních zařízení ponechat, norma ji zatím toleruje jako alternativní řešení.

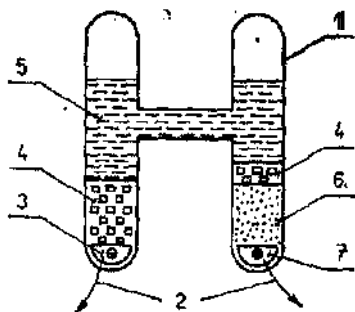
Nové je také označování několikažilových vodičů několikafázových rozvodů čísly. Dříve používané značení fází R, S, T se nahrazuje označením L1, L2 a L3.

II. ZÁKLADNÍ ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY

3. Mezinárodní Westonův normálový článek

Jako primární etalony napětí slouží Westonovy články. Jsou vyráběny podle mezinárodních předpisů, které byly stanoveny již na konferenci v Londýně roku 1908. Provedení článků, vyráběných v ČSSR, musí odpovídat ČSN 35 6402. Westonovy články se používají všude tam, kde nejsou požadavky na velký odběr proudu — tedy zejména ke kompenzačním měřením. Používají se i jako normály přesného a stálého napětí při laboratorních měřeních. Vyrábějí se i články, vhodné k vestavění do přesných měřicích přístrojů, jako jsou např. pH-metry, číslicové voltmetry aj. I když se dnes již nahrazují kompenzovanými referenčními diodami, absolutní stálost jejich napětí nahradit nelze.

Provedení normálového Westonova článku je na obr. 3. Kladnou elektrodou je čistá rtuť, zápornou tvoří amalgam kadmia (87,5 % Hg a 12,5% Cd). Nad zápornou elektrodou jsou krystaly síranu kademna-



Obr. 3. Klasické provedení normálového Westonova článku. 1 — skleněná nádoba, 2 — drátové vývody elektrod, 3 — amalgam kadmia, 4 — krystaly síranu kademnatého, 5 — nasycený roztok síranu kademnatého, 6 — síran rtuťnatý, 7 — rtuť

tého. Nad kladnou elektrodou je směs síranu rtuťnatého a síranu kademnatého a nvrchu jsou krystaly síranu kademnatého. Zbývající prostor je vyplněn nasyceným roztokem síranu kademnatého. Přívody ke kladné a záporné elektrodě jsou platinové.

Průměrné svorkové napětí při teplotě kolem 20 °C je vyjádřeno vztahem

$$U_v = U_{20} - 0,000046(0 - 20)$$

kde U_v je svorkové napětí [V] při teplotě (v) a U_{20} svorkové napětí [V] při 20 °C.

V průmyslové praxi se používají články, u nichž je elektrolytem nenasycený roztok (při 20 °C), síran kademnatý u těchto článků nevytvoří krystaly. Články mají napětí 1,0180 V až 1,0198 V a řadí se do třetí jakostní třídy.

Vnitřní odpor normálového článku bývá až 500 R. Při používání normálových článků se musíme řídit těmito zásadami:

- a) zatěžovací odpor má být co největší a odběr proudu nemá být větší než 1 uA. Článek musí být chráněn před náhodnými zkraty a větším, byť krátkodobým zatížením;
- b) teplota okolí se má pohybovat v mezích +4 až +40 °C;
- c) článek musí být uložen v předepsané poloze a nesmí se převracet, musí být chráněn proti otřesům a nárazům;
- d) článek je použitelný, nemění-li se jeho svorkové napětí o více než dovoluje výrobce.

Jediným výrobcem těchto článků u nás je n. p. Metra Blansko, která vyrábí tyto typy:

- W 100, I. třída, 1,01855 až 1,01875 V, dovolená změna napětí za rok je 50 uV;
- II. třída, 1,01845 až 1,01885 V, dovolená změna napětí za rok je 100 uV;
- III. třída, 1,0180 až 1,0199 V, dovolená změna napětí za rok 200 uV.

Do přenosných měřicích přístrojů je určen zmenšený, hermeticky uzavřený článek W 100 T3 s napětím 1,01845 až 1,01885 V, dovolená změna napětí za rok je maximálně 100 uV.

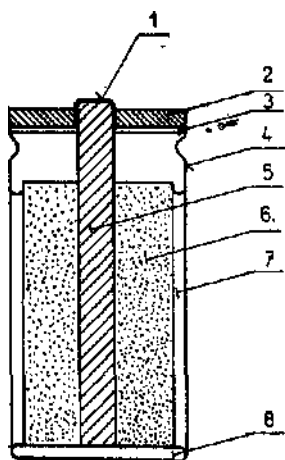
Všechny normálové články musí mít stejně jako přesné měřicí přístroje průvodku s údaji o přesnosti, o svorkovém napětí atd.

4. Galvanické články

Galvanickými články se nazývají chemické zdroje elektrické energie, ve kterých nastávají většinou nevratné chemické pochody doprovázené vznikem elektromotorického napětí na výstupních elektrodách článku. Jde vždy o dvě elektrody umístěné v elektrolytu. Kvantitativní stránku

elektrochemického děje určil Faraday, když objevil a definoval vztahy mezi elektrickým nábojem prošlým roztokem a množstvím vyloučené látky.

Nejznámější z galvanických článků je Leclancheův galvanický článek. Má uhlíkovou a zinkovou elektrodu, které jsou umístěny ve vodním roztoku salmiaku. Z této základní koncepce se vyvinul suchý galvanický článek. Pod tímto pojmem se rozumí každý typ Leclancheova článku, u kterého je elektrolyt fixován, zahuštěn nebo pohlcen pórovitou hmotou tak, že při skladování, manipulaci a používání nevytéká v žádné poloze. Běžný typ klasického Leclancheova článku je na obr. 4. Jako ztužovadlo elektrolytu zde slouží pšeničná mouka. Po-



Obr. 4. Jednoduchý suchý galvanický článek. 1 — měděná čepička (kladný pól), 2 — izolační zálev, 3 — podložka, 4 — zinkový kalíšek (záporný pól), 5 — uhlíková katoda, 6 — depolarizátor, 7 — elektrolyt, 8 — izolační podložka

užívá se i sací papír, sádra, škrobové látky a jiné. Elektrolytem je salmiak, správněji chlorid amonný, který se během vybíjení článku spojuje se zinkem a vytváří chlorid zinečnatý. Ten působí na škrobové tužidlo elektrolytu tak, že z něho odděluje vodu, dochází k místnímu rozředování elektrolytu. V místech, kde je zinkový kalíšek již rozleptaný, dochází i k částečnému vytékání elektrolytu.

Nověji se používají alkalické burelové články (též označené ABC na rozdíl od dřívějších KLC). Článek ABC pracuje v alkalickém prostředí, na rozdíl od salmiakového KLC článku, který má elektrolyt mírně kyselý. Tento článek se skládá ze zinkové anody, alkalického elektrolytu, jímž je obvykle hydroxid draselný. Elektrolyt je zahuštěn některou škrobovitou látkou. Katoda je lisována a obsahuje buřel, jehož hlavní složkou je kysličník manganičitý. Pojídlem je grafit nebo

saze. Zjednodušeně lze chemický děj při vybíjení článku vyjádřit rovnicí $\text{Zn} + \text{MnO}_2 \rightarrow \text{MnO} + \text{ZnO}$, tj. slovně: kovový zinek, který je součástí pouzdra a zinek, který je navíc v článku přidán v granulovaných částech se oxiduje na kysličník zinečnatý a kysličník manganitý se redukuje na kysličník manganatý.

V elektronkových přístrojích se pro vyšší napětí používají destičkové články, které se řadí do baterií a prodávají např. pod obchodním názvem Anodová baterie. Základem je plochý kotouček. Zápornou elektrodu tvoří zinek. Ten na své vnitřní straně se stýká se zahuštěným elektrolytem, vnější strana je potřena vodivým lakem, jehož hlavní složkou bývá uhlí. Na elektrolyt je položena tableta depolarizátoru a všechny součásti jsou uzavřeny v pružném izolovaném pouzdru prstencového tvaru. Články jsou pak slisovány ve sloupcích, celé sloupce sériově spojených článků jsou opatřeny drátovými vývody a celek je zalit asfaltem a uložen v krabici ochraňující články před vysycháním.

Napětí suchého uhlozinkového článku je (podle typu) vždy kolem 1,5 V. Téměř všechny suché galvanické články mají vyznačené jmenovité napětí 1,5 V. Kromě tohoto napětí bývá zvykem udávat ještě počáteční napětí, které má mít článek při připojení určeného odporu. Např. n. p. Bateria Slaný pro článek R20 o jmenovitém napětí 1,5 V udává minimální počáteční napětí 1,4 V při připojení vybíjecího odporu $R = 40 \text{ ohm}$.

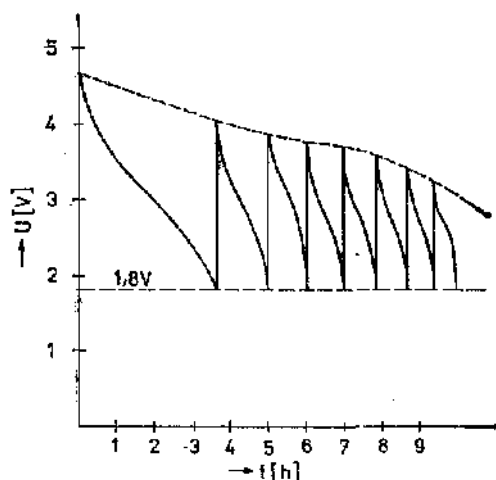
Suchý galvanický článek má vnitřní odpor závislý na provedení, velikosti a vzdálenosti elektrod, druhu elektrolytu, teplotě, stupni vybíjení a mnoha dalších vlivech. Orientačně lze však říci, že vnitřní odpor se pohybuje asi v mezích od 0,2 do 1 ohm. Tento poměrně velký vnitřní odpor chrání článek proti zničení při zkratovém proudu.

Uživatelé zejména zajímá, jakou energii je možné z určitého typu článku odebrat. Výrobci udávají, že starší typ článku KLC má měrnou energii 30 až 60 Wh/kg, novější typy článků ABC 50 až 90 Wh/kg.

V katalogích se udává energie, kterou je článek schopen dodat, nepřímo jako minimální vybíjecí doba, po kterou je článek schopen dodávat proud do určeného zatěžovacího odporu, až poklesne napětí článku na minimálně stanovenou mez. Jelikož mají galvanické články značnou zotavovací schopnost, je tato doba ještě součtem dalších vybíjecích časů se stanovenou dobou zotavení článku. Např. n. p. Bateria Slaný pro článek R20 typ 144 udává počáteční vybíjecí napětí 1,4 V, konečné vybíjecí napětí 0,9 V, vybíjecí odpor 40 R, vybíjecí doba minimálně 150 hodin, způsob vybíjení je přerušovaný, tj. 4 hodiny denně při sedmi dnech v týdnu.

U každého typu článku lze najít optimální způsob přerušovaného vybíjení, při kterém lze odebrat maximální množství energie. • Jiným

způsobem vybíjení nedojde např. k úplnému zotavení a můžeme dojít k úplně odlišným hodnotám. Příklad vybíjecích křivek ploché baterie složené ze tří sériově spojených článků je na obr. 5. Jakmile napětí baterie pokleslo při vybíjení do odporu $15 R$ na úroveň $1,8 V$, bylo vybíjení přerušeno. Zotavovací doba není v grafu zakreslena. Po zotavení se již nikdy napětí baterie nevrátí na předešlou úroveň. Klesá po čárkovaně vyznačené obalové křivce.



Obr. 5. Vybíjecí křivka běžné ploché baterie. Vybíjecí odpor je $15 R$, doba zotavení není zakreslena, ale činí vždy 24 h

Trvale lze zatěžovat galvanický článek proudem asi $0,01 A/cm^2$ činné plochy zinkové elektrody.

U galvanického článku dochází také k poklesu počátečního napětí vlivem vnitřního vybíjení. Velikost vnitřního vybíjení je značně ovlivňována okolní skladovací teplotou, a proto se doporučuje skladovat suché články pokud možno v suchém a chladném prostředí. Vyšší teplota samovolné vybíjení urychluje. Výrobci udávají u článků také maximální skladovací dobu. Na konci této skladovací doby nesmí poklesnout vybíjecí doba na méně než 80 % udávané doby. Skladovací doba běžných komerčních galvanických článků je 6 až 18 měsíců.

Optimální teplota pro činnost suchého článku je $20\text{ }^{\circ}C$. Suchý článek je schopen práce v teplotním rozmezí $-20\text{ }^{\circ}C$ až $+50\text{ }^{\circ}C$. Pro nižší teploty se vyrábějí speciální mrazuvzdorné články, které jsou schopné práce i při teplotě $-40\text{ }^{\circ}C$.

Výrobci suchých galvanických článků na celém světě dbají mezinárodních doporučení, takže bez ohledu na vnitřní uspořádání a technologické zvláštnosti dodržují se vnější rozměry baterií a způsob vy-

vedení napětí z elektrod. Vžilo se označení podle normy IEC, kde např. monočlánek má označení R20, plochá baterie 3R12, tužkový článek R6 atd. Značení Článků vyráběných v ČSSR je uvedeno v tabulkách 1 a 2.

Ačkoliv se má všeobecně za to, že galvanické články mohou elektrickou energii pouze vydávat, nikoliv ji akumulovat, byly akumulční schopnosti pozorovány i u těchto článků. O těchto jevech se v odborné literatuře málo pojednává a výrobci se o nich v prospektech svých výrobků vůbec nezmiňují. Zajímavé výsledky uvádí např. ing. Kubeš [18]. Plochá kapesní baterie výrobce n. p. Bateria Slaný typ 310 byla vybíjena denně půl hodiny odporem 15 R. Po deseti cyklech měla napětí 1,8 V. Nová baterie stejného typu byla zatěžována stejně a vždy po zbytek zotavovací doby byla dobíjena (tj. po dobu 23,5 hodiny) proudem 5 mA. Tato baterie vydržela 32 cyklů, tedy více než trojnásobek. Z baterie bylo v druhém případě odebráno navíc proti prvnímu prostému vybíjení 0,09 Ah a nabíjecím proudem dodáno 0,117 Ah, což je účinnost asi 78%.

Pro zajímavost je uveden ještě jeden příklad. Mokrá Leclancheův článek typu V1 byl vybíjen 2 hodiny denně odporem 10 R. Stejným způsobem byl vybíjen i jiný článek stejného typu. První článek byl ponechán v klidu, druhý článek byl v zotavovací době dobíjen stejnosměrným proudem 20 mA. Do zmenšení napětí na 0,7 V dodal první článek 105 Ah (zkouška trvala 270 dnů). Druhý článek dodal celkem 590 Ah a vydržel v chodu 1833 dnů.

Burelové články se musí dobíjet odlišným způsobem než běžné akumulátory. Dobíjet se musí vždy články čerstvé, již v první zotavovací době. Články musí být dosud nevybité, jejichž účinné látky se dosud neproměnily na nové sloučeniny. Vybité články dobíjet nelze, nebo jen se zanedbatelným účinkem. U suchého burelového Článku je pásmo vratných pochodů dáno napětíovými hranicemi 1 až 1,5 V. Hranice zmenšení kapacity článku je maximálně o 20 %. Zkušenosti s regenerováním suchých článků lze shrnout do těchto bodů:

- a) K dobíjení jsou vhodné články, jejichž napětí je větší než 1 V. Schopnost regenerace se zachová, zastaví-li se vybíjení před zmenšením svorkového napětí pod 1 V.
- b) Nabíjecí proud musí být tak velký, aby nabíjecí napětí nebylo větší než napětí, při kterém se rozkládají soli tvořící elektrolyt. Nabíjecí proud je tedy relativně malý. Největší proud je 0,1 mA na 1 cm² povrchu rozpustné elektrody (zinek) nabíjeného Článku. Větší nebo menší nabíjecí proudy dávají horší výsledky.
- c) Ze suchých článků jsou nejvhodnější Články bez salmiaku (tzv. ABC-alkalicko burelové články) [25].

**Tabulka 1. Suché články a baterie pro zařízení a tranzistory
(výrobce Bateria Slaný, n. p.)**

Označení IEC	Typ	Vybíjecí odpor Ohm	Vybíjecí doba min	Jmenovité napětí V	Rozměry mm	Hmotnost kg	Obchodní název
6F22	SOD	900	25	9	26,5x17,5x48,5	0,035	baterie
	71 D	300	32	6	33 X 24 X 57	0,065	speciální baterie
R 14	83	75	70	1,5	průměr 26 X 50	0,043	monočlánek (malý)
R 20	87	40	150	1,5	průměr 34 X 62	0,095	monočlánek (velký)
R 14	134	75	100	1,5	průměr 26 X 50	0,040	monočlánek (malý) — papír
R 20	144	40	150	1,5	průměr 34x61,5	0,092	monočlánek (velký) — papír
R 6	155	150	110	1,5	průměr 14,5x50	0,014	tužkový článek — papír
2R10	224	300	100	3	průměr 21,5x74	0,045	svítilnová baterie
3R12	314	225	100	4,5	62x22x67	0,112	plochá baterie

**Tabulka 2. Suché články a baterie pro kapesní svítilny
(výrobce Bateria Slaný, n. p.)**

Označení IEC	Typ	Vybíjecí odpor Ohm	Vybíjecí doba min	Napětí V	Rozměry mm	Hmotnost kg	Obchodní název
R12	113	5	210	1,5	průměr 21,5x60	0,035	článek
	110						
R 20	143	5	690	1,5	průměr 34x61,5	0,092	monočlánek (velký)
R 6	154	5	75	1,5	průměr 14,5 x 50,5	0,014	tužkový článek
3R12	313	15	210	4,5	62 x 22 x 67	0,112	plochá baterie

d) Při zachování uvedených zásad lze dosáhnout až 3000 vybíjecích a nabíjecích cyklů při podstatném zvětšení účinnosti článku nebo celé baterie.

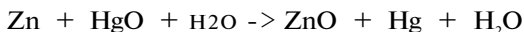
e) Ampérhodinová účinnost nabíjecích a vybíjecích cyklů je asi 70%.

f) Vzhledem ke změnám vnitřního odporu během dobíjení jsou nejvhodnější jako zdroje nabíjecího proudu stabilizované zdroje proudu, tj. nabíječe s charakteristikou I.

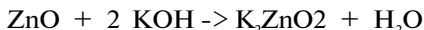
g) Bližší informace je možné čerpat z literatury [9], [10], [18], [25].

5. Alkalický rtuťový Článek

V alkalickém rtuťovém článku probíhá chemická reakce



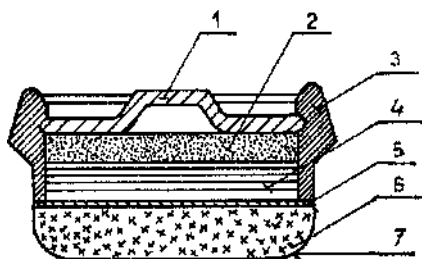
Jde tu o redukci kysličníku rtuťnatého a o současnou oxidaci zinku. Na 1 g mol aktivního materiálu elektrod se uvolňuje asi 54 Ah. Při provozu článku neubývá vody, což má příznivý vliv zejména na jeho skladovatelnost. Po zhotovení mají rtuťové články počáteční napětí 1,4 V, které po krátkém skladování klesá na 1,345 V. Toto napětí naprázdno je poměrně dlouho stálé, což je způsobeno chemickou reakcí mezi elektrolytem a kysličníkem zinečnatým, který je jeho příměsí nebo který vzniká při reakci článku.



Přítomnost zinečnatanu draselného v nasyceném elektrolytu je důvodem, že jinak agresivní elektrolyt nenapadá materiál záporné elektrody. Rtuťový článek je jeden z mála elektrochemických zdrojů energie, u něhož jsou reakční zplodiny vodivější a zaujímají menší objem než látky výchozí. Přímá redukce HgO v Hg a stálost elektrolytu při vybíjení způsobují, že kapacita článku při nepřetržitém vybíjení je stejná jako při vybíjení přerušovaném. Rtuťový článek se vyznačuje velkou měrnou energií. Uvádí se, že při malých odběrech proudu lze z článku o 1 g HgO a 0,302 g Zn odebrat asi 0,227 Ah, při větším proudovém zatížení se využití zhorší asi o 10 až 20 %. Rozmezí napětí článku je asi 1,3 až 0,9 V.

Při proudovém přetěžování článku vznikají velmi snadno nerovnovážné poměry, zejména přebytek zinku proti depolarizátoru, po vyčerpání se uvolňuje vodík a může velmi snadno dojít k destrukci. Proto se zejména uzavřené rtuťové články vyrábějí v robustních krytech s jednocestným bezpečnostním ventilem. Na obr. 6 je zjednodušené schéma rtuťového článku v řezu. V ocelovém kalíšku 7 je nalisována depolarizační směs z 92 % kysličníku rtuťnatého a 8 % koloidního grafitu, jehož přítomnost zvětšuje vodivost. Zápornou elek-

trodou 2 je zinek značné čistoty, nejméně 99,99 %. Zatížitelnost článku závisí na rozpustnosti zinku; proto je snahou rozpustnost zinku zlepšovat používáním amalgamového zinkového prášku lisovaného do tablet 2 nebo používáním zinkové fólie s elektrolytovým papírem.



Obr. 6. Zjednodušený řez rtuťovým alkalickým článkem. 1 — závěr článku (záporný pól), 2 — destičková katoda z práškového zinku, 3 — izolace, 4 — nosič elektrolytu, 5 — separátor, 6 — depolarizační směs kyslíčnicku rtuťnatého a grafitu, 7 — nádoba článku (kladný pól)

Rtuťové články se dnes používají všude tam, kde je potřeba relativně malý zdroj energie, zejména v přístrojích pro nedoslýchavé a jiných přenosných zařízeních ve sdělovací a slaboproudé elektrotechnice. Mají, jak již bylo uvedeno, stálé napětí naprázdno. Články nesnášejí teploty nad 50 °C. Mají dobrou, poměrně po dlouhou dobu vybíjení pouze slabě klesající křivku vybíjecího napětí. Pro ilustraci uvedeme na závěr technické údaje o typu MRO1, který vyrábí n. p. Bateria Slaný.

Jmenovité napětí 1,34 V

Vybíjecí odpor 300 R

Minimální počáteční napětí při zatížení 1,28 V

Konečné napětí 0,9 V

Vybíjecí doba 60 h

Rozměry průměr 11,8 mm X 15,2 mm — knoflíkové provedení

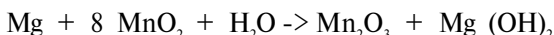
Hmotnost 5,5 g

Zdá se, že většímu používání rtuťových alkalických článků brání jejich nepoměrně vyšší cena a malé množství nabízených typů.

6. Hořčíkové články

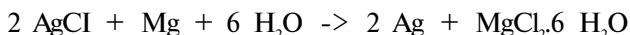
Známe dva druhy hořčíkových článků. Články suché Leclancheova typu, u nichž je rozpustná zinková elektroda nahrazena hořčíkovou. Druhou skupinou jsou články nálevné.

Suchý hořčíkový Článek využívá chemického pochodu

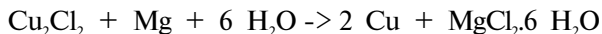


Hořčíková elektroda je slitina 95,65 % Mg, 3 % Al, 1 % Zn, 0,2 % Mn a 0,15% Ca. Tato elektroda je záporná. Kladnou elektrodu tvoří buřel a acetylénové saze. Elektrolytem je roztok 20% bromidu horečnatého s použitím ztužovačla. Konstrukčně se podobá tento článěk suchému galvanickému článku. Jmenovité napětí tohoto článku je 1,9 až 2 V. Kapacita Článku získaná v napěťovém rozmezí 1,9 až 0,8 V při suchý hořčíkový článěk ještě vzduchový depolarizátor, zvětší se kapacita proudu 0,2 A je dvojnásobná než u suchého článku se zinkem, Má-li kapacita článku ještě o polovinu. Nepříjemnou vlastností je, že napětí článku vzroste až po uzavření elektrického obvodu, a to ještě až za několik sekund. Výroba hořčíkových kalíšků je poměrně nákladná a cena je také vyšší. Více se používají hořčíkové články nálevné.

Jsou známy nálevné články, jejichž kladnou elektrodou je buď stříbro s chloridem stříbrným jako depolarizátorem, nebo měď s chloridem měďným. V těchto bateriích probíhají při vybíjení pochody



popřípadě



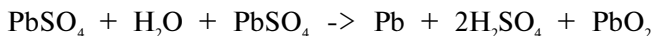
Zápornou elektrodou je čistý hořčík. Nosičem elektrolytu je celulózový separátor. Články se skladují suché. Aktivují se ponořením do vody. Jak se mění chlorid stříbrný ve stříbro, zmenšuje se vnitřní odpor článku, takže napětí článku je během vybíjení poměrně stálé. Jakmile se celý objem chloridu stříbrného zredukuje, ztrácí článěk napětí a jeho doba života končí. Napětí článku probíhá v mezích od 1,32 do 0,60 V při zatížení 70 mA/cm². Pro dobu života 30 minut se zhotovují baterie, ze kterých lze odebírat asi 2 A/cm².

Hořčíkové články s chloridem měďným jsou levnější. Napětí článku je 1,7 až 1,8 V. Po oživení baterie vznikne napětí až po několika minutách. Proudová hustota a zatížitelnost tohoto typu článku je také několiknásobně menší.

Nálevné hořčíkové baterie se ještě neustále používají pro meteorologické sondy, v letectví a pro speciální účely.

7. Olověný akumulátor

Zjednodušeně lze říci, že olověný akumulátor tvoří olověné desky (elektrody), ponořené do zředěné kyseliny sírové. Jeden článěk akumulátoru je tvořen právě dvěma deskami, elektrodami. Články se spojují do série a tvoří akumulátor. Chemický pochod při nabíjení a vybíjení je vratný a lze ho vyjádřit vztahem



kde směr šipky vpravo značí pochod při nabíjení a vlevo při vybíjení. Při nabíjení se tvoří kyselina sírová a elektrolyt houstne. Po skončeném nabíjení je na kladné elektrodě tmavohnědý kysličník olovičitý a na záporné elektrodě je jemně rozptýlené tmavošedé olovo. Při vybíjení je pochod opačný: elektrolyt řídne a ve vybitém stavu je na kladné elektrodě červenohnědý a na záporné elektrodě tmavošedý síran olovnatý.

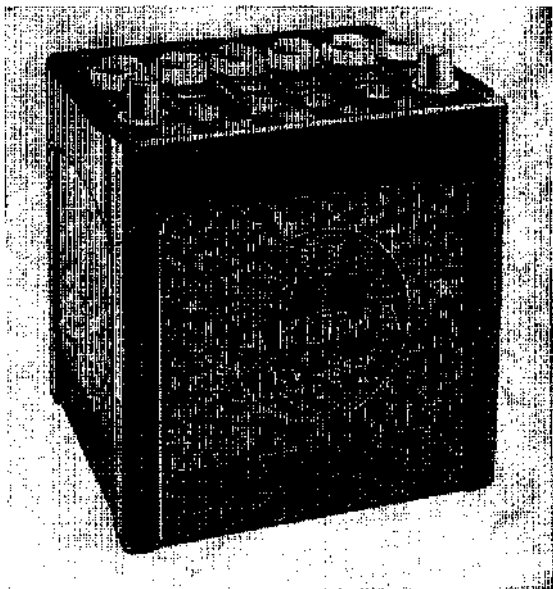
Hustota elektrolytu se zvětšujícím se nábojem zvětšuje, a tedy je spolehlivou známkou stavu akumulátoru. Druhým ukazatelem stavu akumulátoru je zvětšující se napětí při nabíjení. Pomocným ukazatelem stavu je tzv. plynování elektrod. Z akumulátoru totiž při nabíjení unikají bubliny, jakoby se elektrolyt „vařil“. Tento jev však ukazuje na to, že je ukončen rozklad síranu olova a že začíná elektrolyza vody. Voda se při nabíjení rozkládá na kyslík a vodík. Proto je třeba akumulátory nabíjet ve větraných místnostech, nebo na volném prostranství. Směs vodíku a kyslíku tvoří totiž třeskový plyn, který může explodovat.

Pro nabíjení a vybíjení oloveného akumulátoru jsou typické křivky podle obr. 10. Křivka napětí při nabíjení akumulátoru probíhá třemi pásmy — první pásmo po připojení nabíjecího proudu je charakterizováno zvětšováním napětí v souvislosti s tvorbou kyseliny v pórech olovených desek. Jde o oblast mezi napětím 1,75 až 2,2 V; hustota elektrolytu se přitom zvětšuje z 0,95 g/cm³ na 1,15 g/cm³. Druhé pásmo přeměny síranu olovnatého je ohraničeno napětím 2,2 až 2,45 V. Hustota kyseliny se zvětší až na 1,25 g/cm³. Zvětší-li se napětí článku při nabíjení na 2,45 V, začne se kromě síranu rozkládat i voda (na kyslík a vodík) a akumulátor začne plynovat. Rozloží-li se všechny síran, zvětší se napětí článku na 2,7 až 2,8 V. Od tohoto okamžiku se přiváděná energie spotřebovává jen k rozkladu vody, akumulátor začne intenzívně plynovat a jeho napětí se již nezvětšuje.

Vnitřní odpor oloveného akumulátoru je velmi malý, řádu 0,001 R. Závisí na hustotě a teplotě elektrolytu. Při nabíjení se vnitřní odpor akumulátoru zmenšuje, při vybíjení se zvětšuje. Vybitý akumulátor má asi dvakrát větší vnitřní odpor oproti akumulátoru nabitému. Při snižování teploty se zvětšuje vnitřní odpor akumulátoru asi o 0,4%/°C. Malý vnitřní odpor předurčuje olovený akumulátor k použití všude tam, kde potřebujeme velký proud po krátkou dobu, tj. např. v automobilech při startování (startér odebírá z akumulátoru proud 70 až 100 A, u velkých nákladních automobilů i více). Zvětšený vnitřní odpor signalizuje větší sulfatizaci akumulátoru.

Na 1 Ah je třeba asi 36 g aktivní hmoty elektrody. Kapacita akumulátoru je přímo úměrná ploše elektrod, nebo přesněji řečeno, množství činné hmoty, která se účastní vratné chemické přeměny. Protože

kapacita akumulátoru závisí i na velikosti vybíjecího proudu, udává každý výrobce zaručenou minimální kapacitu akumulátoru při určitém proudu (což bývá, není-li uvedeno jinak, proud po vybíjení po dobu 10 hodin, tj. 1/10 kapacity akumulátoru v ampérech).



Obr. 7. Startovací olověný akumulátor určený pro osobní automobily

Olověné akumulátory se vyrábějí v mnoha druzích a typech. Podle použití se rozdělují na (v závorce je písmenové označení, které pro jednotlivé typy používá Pražská akumulátorka, n. p. Mladá Boleslav):

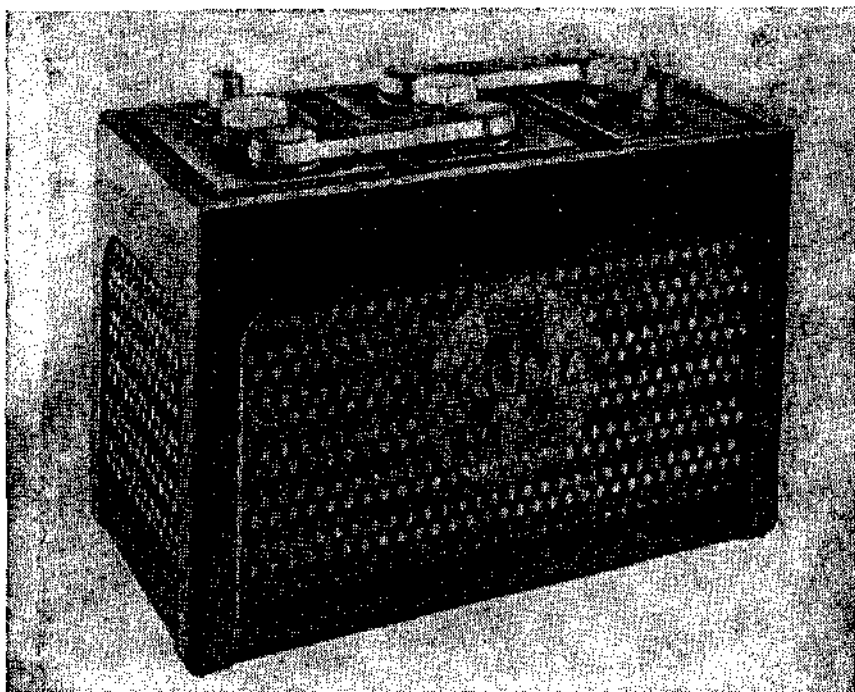
- startovací olověné akumulátory pro spouštění spalovacích motorů a napájení elektrických zařízení motorových vozidel (označení ST, N, T);

- olověné akumulátory pro motocykly k napájení elektrických spotřebičů motocyklů bez elektrického spouštěče (označení M, MO);

- startovací olověné akumulátory pro motocykly (označení MS);

- dopravní olověné akumulátory a Články, určené jako zdroj elektrického proudu k napájení elektrických motorů a dopravního zařízení (označení K, KS s mřížkovými elektrodami, DT s trubkovými kladnými elektrodami);

- olověné akumulátory k osvětlování, k napájení osvětlovacích zařízení kolejových vozidel a plavidel (označení GO);



Obr. 8. Startovací olověný akumulátor 6 V, výrobce Pražská akumulátorka, n. p. Mladá Boleslav

telefonní olověné akumulátory pro sdělovací zařízení (označení OE); staniční olověné články, akumulátory a jejich baterie, určené jako stacionární zdroje v telekomunikacích, k osvětlování budov, napájení signalizačních zařízení apod. (označení J).

Uvedené druhy a typy olověných akumulátorů nejsou samozřejmě vyčerpávajícím souhrnem. Různí světoví výrobci vyrábějí téměř nepřehledné množství typů, které se liší konstrukcí, hustotou a složením elektrolytu, velikostí a vnějším provedením.

Typový znak akumulátorů z Pražské akumulátorky se skládá z číslice, písmenového znaku, určujícího druh a z dvojčíslí. Číslice znamená počet článků v akumulátoru, číslo za písmenem určuje kapacitu akumulátoru v Ah. Tedy např. akumulátor 6N35 (obr. 7) je šestičláňový startovací olověný akumulátor ke spouštění spalovacích

motorů, s kapacitou akumulátoru 35 Ah (tj, 12 V/35 Ah). Na obr. 8 je tříčlánekový startovací akumulátor typu 3T150. Přehled nejpoužívanějších typů akumulátorů je v tab. 3 a 4.

Tabulka 3. Startovací olovené akumulátorové baterie
(výrobce Pražská akumulátorka, n. p. Mladá Boleslav)

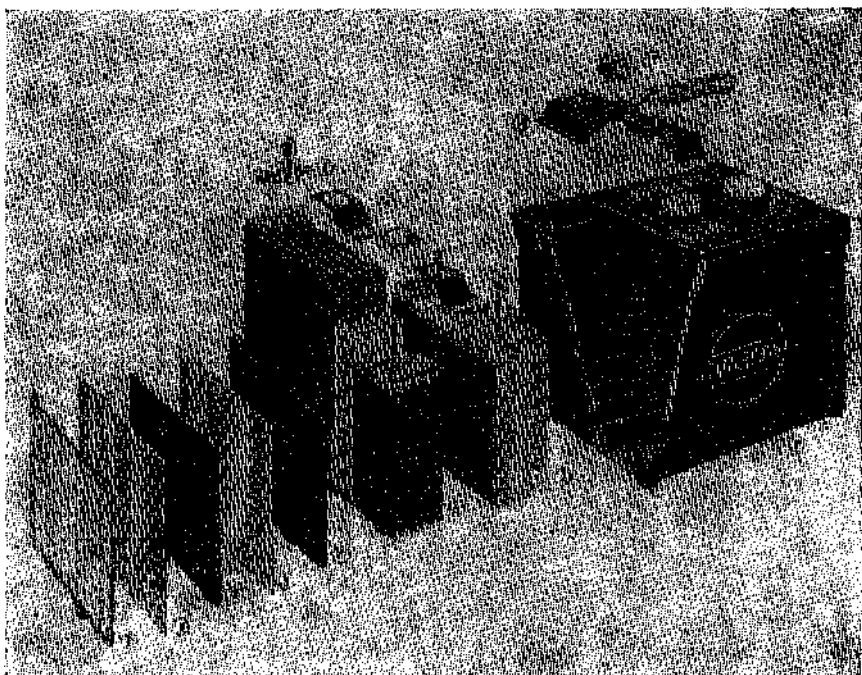
Typ	Jmenovitá. kapacita akumulátoru Ah	Jmenovité napětí V	Rozměry mm	Hmotnost kg
3N75	75	6	170x220x225	20
3T150	150	6	170x330x236	34
6N35	37	12	166x209x214	16,4
6N50	50	12	168x260x217	20
6N62	62	12	170x307x218	26
6N75	75	12	170x381x225	32
6N88	88	12	170x435x225	37
GN100	100	12	170x483x225	41
6T125	125	12	515x196x238	49
6T137	137	12	515x216x238	55
6T150	150	12	515x236x238	62
6T175	175	12	515x268x241	74
6T200	200	12	521x311x242	87

Tabulka 4. Olovené akumulátorové baterie pro motocykly
(výrobce Pražská akumulátorka, n. p. Mladá Boleslav)

Typ	Jmenovitá kapacita akumulátoru Ah	Jmenovité napětí V	Rozměry mm	Hmotnost kg
3MO8	8	6	52X127X127	1,9
3MS12	12	6	78 X 144 x 163	3,4
3M14	14	6	78x144x163	3,6
3MO14	14	6	78x128x160	3,5

Je pochopitelné, že se všemi druhy olovených akumulátorů zabývat nemůžeme. Vybereme si ty nejrozšířenější a nejzajímavější typy startovacích olovených akumulátorů, určených jako startovací akumulátory motorových vozidel.

Konstrukce moderního automobilového startovacího akumulátoru je na obr. 9. Záporné elektrody (desky 1, 4) obklopují kladné elektrody (desky 2). Všechny systémy desek jsou spojeny olovenými můstky, do



Obr. 9. Konstrukce startovacího olověného akumulátoru

nichž jsou desky připájeny svými praporce. Kladné desky jsou od záporných odděleny tzv. mipseparátory, což jsou tenké pórovité desky z tzv. miporu, skelné vaty a z tkanin (z vláken plastických hmot), vzájemně slisované (3). Sady desek s pólovými můstky a separátory tvoří v akumulátoru mechanicky pevný celek bez pohyblivých součástí (7). Jen tak může akumulátor odolávat těžkým provozním podmínkám v motorovém vozidle. Jednotlivé monobloky (články) jsou pak vloženy do vzájemně izolovaných částí celého bloku a jsou spojeny do série propojkami, umístěnými na povrchu akumulátoru.

Jak jsme již uvedli, kapacita akumulátoru závisí na mnoha činitelích. Kromě již uvedených se mění i s počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů. Při opakovaném nabíjení a vybíjení se kapacita akumulátoru neustále zvětšuje. Jmenovité kapacity se u akumulátoru dosáhne asi při desátém nabíjecím cyklu. Kapacita akumulátoru se začne zmenšovat až při opotřebení především kladné elektrody. Doba života akumulátoru odpovídá asi 350 nabíjecím cyklům. Otřesy, přetěžování, na-

bíjení a vybíjení velkým proudem, časté startování atd. skutečnou dobu života akumulátoru velmi zkracují. Při běžném a správném používání je doba života akumulátoru průměrně asi 3 až 4 roky.

Nový akumulátor může být dodáván výrobcem buď jako formovaný v suchém stavu, bez elektrolytu (dlouhé uvádění do činnosti), nebo jako nabitý zasucha bez elektrolytu (rychlé uvedení do činnosti), nebo jako nabitý s elektrolytem (schopný okamžité funkce).

8. Vlastnosti olověného akumulátoru

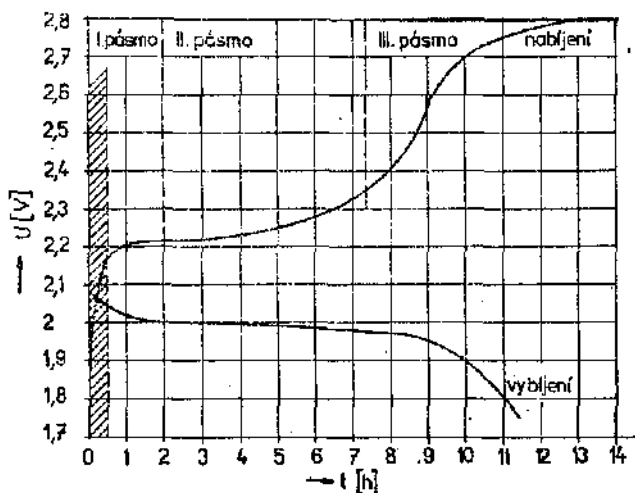
Elektrické vlastnosti olověného akumulátoru vyjadřují nabíjecí a vybíjecí křivky na obr. 10.

Když akumulátor vybíjíme proudem I , potom by mělo podle Ohmova zákona platit

$$U = U_0 - IR \text{ [V]}$$

kde U_0 je elektromotorické napětí, tj. napětí nezatíženého akumulátoru, R vnitřní odpor akumulátoru.

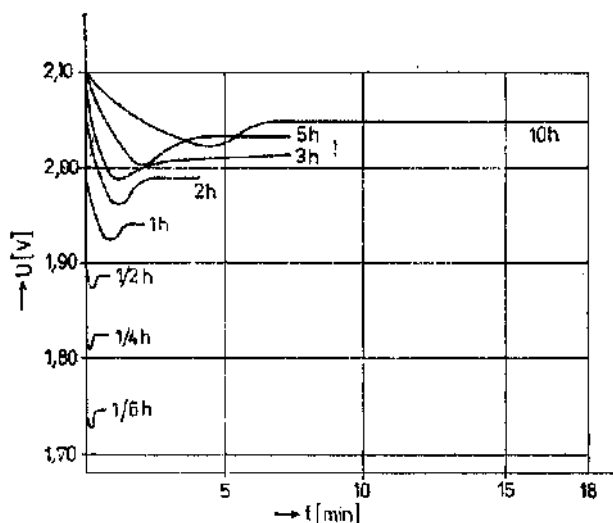
Měření však ukazují, že svorkové napětí neodpovídá vypočítanému napětí podle tohoto vztahu, ale je menší. Čím to vysvětlit? Při vy-



Obr. 10. Vybíjecí a nabíjecí křivka olověného akumulátoru (ve šrafované části grafu dochází k jevům vyznačeným na obr. 11)

bíjení se tvoří na deskách sulfát olova a jeho tvorba je úměrná velikosti vybíjecího proudu. Chemické reakce se účastní kyselina, která je mezi deskami na aktivních plochách a její hustota se zmenšuje. Ostatní kyselina se v první fázi chemické změny neúčastní. S postupující difúzí se teprve tato kyselina dostává mezi desky a přispívá k tvorbě proudu.

Protože je elektromotorické napětí závislé na hustotě kyseliny ve vnitřním prostoru mezi deskami, je v počáteční fázi vybíjení elektromotorické napětí menší. Proto je třeba na pravé straně uvedeného vztahu uvažovat toto menší napětí. Elektromotorické napětí závisí na velikosti odebíraného proudu, na hustotě kyseliny, na její teplotě a z velké části na uspořádání mechanických dílů akumulátoru. K promíšení kyseliny dojde tím snadněji, čím jsou desky blíže k sobě a je členitější jejich povrch. Na obr. 11 jsou znázorněny průběhy svorko-



Obr. 11. Průběhy napětí článku v závislosti na velikosti vybíjecího proudu

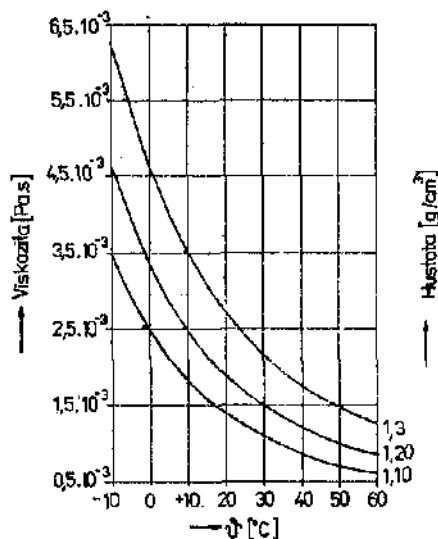
vého napětí akumulátoru v závislosti na čase, po který je akumulátor vybíjen konstantním proudem. Je zde znázorněno několik velikostí vybíjecího proudu. Proud je vždy vyjádřen dobou, za kterou se článek úplně vybije. Křivka označená 1 h značí, že se akumulátor vybíjí proudem, který je číselně v ampérech roven kapacitě akumulátoru v ampérhodinách.

Z obrázku vyplývá, že se krátce po zapojení rychle zmenší svorkové napětí akumulátoru a postupem času se toto napětí opět zvětšuje. Na charakteristice se vytvoří „kapsa“, jejíž velikost závisí na velikosti proudu. Rozdíl napětí je asi 20 až 50 mV. Pokud vybití přerušíme a po určité době opět začneme odebírat z akumulátoru proud, opakuje se tento pokles ve zmenšené podobě. Při přechodném přerušení proudu se neobjeví.

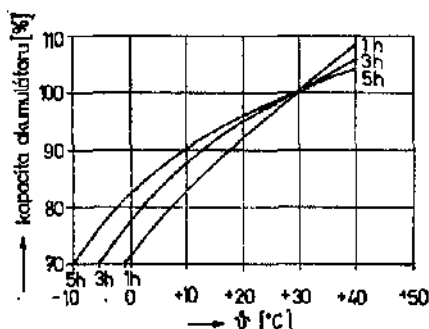
Při přesných měřeních na akumulátoru je třeba tento pokles napětí brát v úvahu a správnou velikost svorkového napětí je možné určit až po uplynutí určité doby. Nejvhodnější je provést měření po uplynutí času, který odpovídá vybití 1/10 kapacity akumulátoru.

Při nabíjení dochází k podobnému jevu. Nabíjíme-li akumulátor ze zdroje konstantního proudu, zvýší se během krátké doby svorkové napětí a posléze se opět sníží. I zde je příčina v nestejně hustotě kyseliny nacházející se na aktivních plochách desek a kyseliny v ostatní nádobě. K ustálenému stavu dojde až po ustálení difúzního míšení kyseliny.

Vlivem teploty se mění viskozita kapalin. Čím je vyšší teplota, tím jsou částčky kapaliny pohyblivější a snáze dojde k jejímu promísení. Voda např. změní viskozitu v rozsahu bodu tání a bodu varu asi šestinásobně. Podobně je tomu s viskozitou kyseliny sírové v akumulátoru.



Obr. 12. Závislost viskozity kyseliny sírové na teplotě

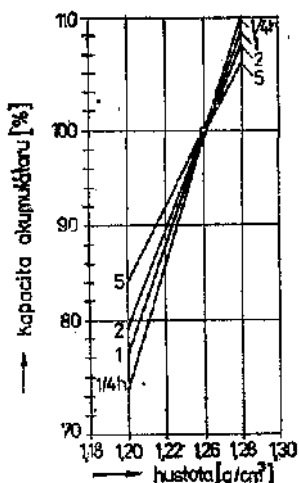


Obr. 13. Závislost kapacity olověného akumulátoru na teplotě elektrolytu

Graf na obr. 12 ukazuje závislost dynamické viskozity kyseliny sírové různého ředění vodou na teplotě. Jak již bylo řečeno, závisí svorkové napětí akumulátoru na schopnosti promísení elektrolytu uvnitř akumulátoru. Zde je samozřejmě velmi důležitá i viskozita. Z toho vyplývá značná závislost kapacity akumulátoru na teplotě elektrolytu. Při nízkých teplotách je vlastně elektromotorické napětí akumulátoru podstatně menší a akumulátor se chová jako by měl větší vnitřní odpor. Závislost kapacity akumulátoru na teplotě určuje opět konstrukce akumulátoru a velikost vybíjecího proudu. V rozsahu $+30$ až -10 °C klesá kapacita u běžných typů akumulátorů přibližně o 1 % na každý stupeň Celsia. Charakteristické průběhy závislosti kapacity akumulátoru na teplotě jsou na obr. 13. Z obrázku je zřejmé, že kapacita akumulátoru také značně závisí na odebíraném proudu. Jednotlivé křivky vyznačují změnu kapacity akumulátoru pro proudy, které zcela vybijí článek za 1 až 5 hodin. V extrémních případech, tedy např. při startování motorového vozidla, jsou proudy ještě značně větší a skutečná kapacita akumulátoru klesá při teplotách kolem -10 °C na zlomek původní kapacity akumulátoru.

Vliv hustoty kyseliny na kapacitu akumulátoru

Jak bylo uvedeno, závisí kapacita akumulátoru také na hustotě kyseliny. Na obr. 14 je znázorněno několik průběhů této závislosti. Za 100% je považována kapacita akumulátoru při hustotě kyseliny $1,26 \text{ g/cm}^3$ při různých velikostech vybíjecího proudu. Z průběhů je



Obr. 14. Závislost kapacity olověného akumulátoru na hustotě elektrolytu

patrné, že opět nejvíce klesá kapacita akumulátoru při odběru větších proudů, tedy např. při startování. Pokles kapacity akumulátoru je značný. Při změně hustoty o $0,01 \text{ g/cm}^3$ se změní kapacita akumulátoru o více než 3%. Z toho vyplývá, že pokud nepečujeme o správnou hustotu kyseliny, např. doléváme-li pouze destilovanou vodu do akumulátoru, který má praskliny, a zbavujeme se tak kyseliny, urychlujeme (obzvláště v zimním období) jeho zničení. Z vlastností elektrolytu vychází i mrazuvzdornost oloveného akumulátoru. Plně nabitý akumulátor s hustotou elektrolytu nezmrzne ani! při teplotách -40°C . Vybitý akumulátor může zmrznout i při teplotě těsně pod bodem mrazu. Zmrzne-li akumulátor, dojde nejčastěji k mechanickému poškození vlivem většího objemu ledu, k poškození houbovitě vrstvy elektrod, oddělení separátorů, ke značné sulfatizaci atd.

9. Alkalické akumulátory

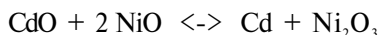
Elektrolytem u těchto akumulátorů je roztok hydroxidu draselného nebo sodného.

Podle složení elektrod se alkalické akumulátory dělí na niklokadmiové a nikloocelové (nikloželezné). Nejrozšířenější z hlediska průmyslové výroby jsou první dva typy.

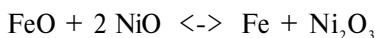
Kladné elektrody tvoří vždy kysličník nikelnatý s příměsí zlepšující vodivost. Touto příměsí je šupinkový nikl nebo grafit.

Záporné elektrody mají odlišné složení u jednotlivých typů alkalických akumulátorů. Tvoří je směs kadmia, železa a kysličníků železa. Kadmium zlepšuje vlastnosti železné elektrody. U nikloocelových akumulátorů je aktivní část záporné elektrody z práškového železa a jeho kysličníků s menším množstvím kysličníku rtuti a speciálních příměsí.

Reakce probíhající v těchto akumulátorech jsou



pro niklokadmiové akumulátory

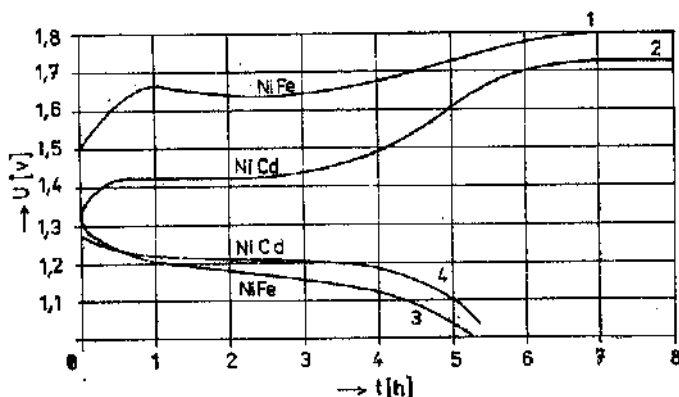


pro nikloocelové akumulátory

Šipka doprava značí chemickou reakci při nabíjení, doleva při vybíjení. Na rozdíl od olovených akumulátorů není hustota elektrolytu znakem nabití akumulátoru. Přesto je třeba tuto hustotu pravidelně měřit. V provozu se hustota zmenšuje a tím se zmenšuje i kapacita akumulátoru. Jakmile hustota je menší než $1,16 \text{ g/cm}^3$, je třeba elektrolyt vyměnit.

Napětí jednoho článku naprázdno po nabití je 1,4 až 1,48 V. Po určité době se toto napětí sníží na stálou velikost 1,3 až 1,4 V. Tento jev se vysvětluje rozkladem vyšších nestálých kysličníků niklu na nižší kysličníky a plyný kyslík. Koncentrace elektrolytu a teplota elektrolytu nemají na napětí téměř žádný vliv.

Elektrické vlastnosti obou typů alkalických akumulátorů nejlépe objasňují nabíjecí a vybíjecí křivky na obr. 15. Napětí nikloocelového



Obr. 15. Nabíjecí (1, 2) a vybíjecí (3, 4) křivky alkalických akumulátorů

akumulátoru se při nabíjení rychle zvětší na 1,6 až 1,65 V (1). Pak při dalším nabíjení (asi po 2/3 nabíjecí doby) zůstává celkem stálé. V závěru nabíjení se napětí opět zvětší až na 1,8 až 1,85 V. Nabíjecí napětí niklokadmiového akumulátoru je asi o 0,2 V menší (2), v začátku nabíjecí doby se rychle nezvětšuje. V prvních dvou třetinách nabíjecí doby se napětí akumulátoru pohybuje v rozmezí asi 1,4 až 1,45 V a v poslední třetině se prudce zvětší na 1,7 až 1,8 V s nepatrnou tendencí se dále zvětšovat. U nikloocelového akumulátoru se na elektrodách již v začátku nabíjení vyvíjejí plyny, u niklokadmiového se plynů vyvíjí jen velmi málo a poněvadž až ke konci nabíjení. V souladu s tím je energetická účinnost nikloocelového akumulátoru asi o 10 % menší než akumulátoru niklokadmiového. Vybíjecí křivky obou akumulátorů mají přibližně shodný průběh. Nikloocelový akumulátor má větší počáteční napětí (3), to se však při vybíjení zmenšuje rychleji a jeho průměrné napětí je menší než průměrné napětí akumulátoru niklokadmiového (4).

Poznámka: U oloveného akumulátoru je rozdíl mezi nabíjecím a vybíjecím napětím menší než u akumulátorů alkalických. To vysvětluje větší energetickou účinnost oloveného akumulátoru.

Přehled běžně používaných alkalických akumulátorů vyráběných v ČSSR udávají tab. 5 a 6.

Tabulka 5. Napájecí niklokadmiové akumulátorové články a baterie (výrobce Pražská akumulátorka, n. p. Mladá Boleslav)

Typ	Jmenovitá kapacita akumulátoru Ah	Jmenovité napětí V	Rozměry mm	Hmotnost kg
NKN 10	10	1,2	100x30x122	0,66
NKN 22	22	1,2	125x30x212	1,45
NKN 45	45	1,2	125x48x212	2,26
NKN 60	60	1,2	148x35x350	3,60
NKNU 6	6	1,2	86x21x113	0,30
NKNU 16	16	1,2	86x37x126	0,70
2NKNU 24	24	2,4	120x68x203	2,40

Tabulka 6. Zapouzdřené niklokadmiové akumulátory (výrobce Bateria Slaný, n. p.)

Typ	Jmenovitá kapacita akumulátoru Ah	Jmenovité napětí V	Rozměry mm	Hmotnost kg
NiCd 225	0,225	1,2	průměr 25 x 8,9	0,011
NiCd 226	0,225	1,2	průměr 25x8,9 + vývody	0,011
NiCd 450	0,45	1,2	průměr 15X50	0,023
NiCd 451	0,45	1,2	průměr 15x50 + vývody	0,023
NiCd 900	0,9	1,2	průměr 15x90,5	0,040
NiCd 901	0,9	1,2	průměr 16x90,5 + vývody	0,040
NiCd 2000	2	1,2	průměr 34 X 62	0,16
IONiCd 228	0,09 až 0,225	12	průměr 27 X 89	0,11

10. Porovnání druhů akumulátorů a další vlastnosti alkalických akumulátorů

U akumulátorů se uvádí dvojí účinnost: energetická a nábojová. Energetická účinnost je podíl energie odebrané k energii dodané. Nábojová účinnost je podíl odebraných ampérhodin (proudu na jednotku času) k dodaným ampérhodinám. Pro porovnání si uvedeme tabulku,

z níž je zřejmá účinnost jednotlivých druhů akumulátorů. Tab. 7 pochopitelně předpokládá tzv. ideální stav, nezahrnuje ztráty při nízké teplotě, ztráty vlastním vybíjením atd.

Tabulka 7. Porovnání nábojové a energetické účinnosti základních druhů akumulátorů

Druh akumulátoru	Účinnost [%]	
	nábojová	energetická
olověný	90	75
niklokadmiový	75 až 80	60 až 65
nikloocelový	75 až 80	55 až 60
stříbrozinkový	95 až 100	80

Ponechá-li se akumulátor po úplném nabití v klidu, nezůstane jeho náboj během doby beze změny, ale zmenšuje se vlastním vybíjením. U dobrých akumulátorů je denní průměrná ztráta náboje asi 0,5%. Podle toho by se každý akumulátor sám vybil asi za půl roku vnitřními chemickými pochody. Běžné akumulátory jsou však po této stránce poněkud horší — výrobci udávají ztrátu původního náboje asi 1 % denně. Ztráty nemají žádné obecné lineární závislosti a jsou u každého typu a každé velikosti akumulátoru jiné. Platí však, že menší akumulátory ztrácejí svůj náboj rychleji než větší typy stejného druhu. U oloveného akumulátoru se rozpouští olovo desek a vzniká síran olovnatý, který je produktem běžného vybíjení. Síran olovnatý a některé kovy (měď, železo, stříbro aj.), obsažené v deskách akumulátoru, tvoří lokální (místní) články. Ty způsobují trvalý vývin plynů na deskách, parazitní proudy a tím úbytek náboje. Tyto pochody se stávají intenzivní s množstvím nečistot a se stářím akumulátoru a přímo úměrně i s teplotou. Naproti tomu u nikloocelového akumulátoru dochází ke ztrátám především a mnohem rychleji v prvních hodinách po nabití. U jakostních výrobků se pak ztráty ustálí a jsou velmi malé. Prudký úbytek náboje v prvních hodinách po nabití je způsoben rozkladem peroxidu niklu kladné elektrody (desky). Pozdější mírný pokles náboje je způsoben podobnými pochody jakou oloveného akumulátoru.

Vnitřní odpor alkalických akumulátorů je větší než u akumulátorů olovených, přičemž niklokadmiový akumulátor má vnitřní odpor menší než akumulátor nikloocelový. Vnitřní odpor alkalických akumulátorů se pohybuje v rozmezí několika desetin miliohmů.

Pro startovací účely se vyrábějí speciální alkalické akumulátory se zmenšeným vnitřním odporem. Ty pak mají téměř stejný vnitřní odpor jako akumulátory olovené. Vnitřní odpor lze zmenšit např. zmenšením vzdálenosti mezi elektrodami a zvětšením počtu desek při současném zmenšení jejich tloušťky. O vnitřním odporu je snad ještě vhodné poznamenat, že u všech akumulátorů velmi značně závisí na stupni vybití a že se u vybitého akumulátoru zvětšuje velmi prudce (téměř exponenciálně),

Alkalické akumulátory jsou svou konstrukcí uzpůsobeny k dlouhodobé službě. Vydrží-li olovený automobilový akumulátor v provozu tři až čtyři roky, staniční olovená baterie pět až deset let, vydrží alkalický akumulátor deset až dvacet let a byly dokonce zaznamenány případy, kdy nikloocelová trakční baterie pracovala i čtyřicet let [18].

Články nikloocelových akumulátorů se spojují do série stejně jako u olovených akumulátorů. Desky článků se spojují do sad, přičemž krajní (kladné) desky nejsou izolovány od článkové kovové nádoby. Sada záporných desek je izolována od kladných desek pryžovými tyčinkami a od stěn nádoby pryžovými profilovými vložkami. Nádoba článku bývá svařena z ocelového plechu, přičemž sady kladných elektrod bývají mnohdy svařeny se dnem nádoby. Pod deskami je kalový prostor, v němž se usazuje činná hmota, vymývaná z desek. Nad hladinou elektrolytu je prostor pro plyny. Menší články jsou uzavřeny pevnou zátkou, větší mají zátku s ventilem.

Jako olovené, vyrábějí se i alkalické akumulátory, v mnoha provedeních. Dále si uvedeme některé typy z řad, vyráběných v Pražské akumulátorce, n. p. Mladá Boleslav (v závorce je uvedeno písmenové značení řady);

- dopravní niklokaadmiové akumulátory (Články i baterie) (NTK);
- napájecí niklokaadmiové akumulátory pro sdělovací zařízení (v kovových nádobách NTK, v nádobách z plastických hmot NKNU);
- osvětlovací niklokaadmiové akumulátory pro kolejová vozidla (NKO)
- niklokaadmiové akumulátory pro velké proudy, tj. ke spouštění motorů diesel-elektrických lokomotiv a jiných zařízení, vyžadujících velké proudy; akumulátory se vyznačují malým vnitřním odporem (NKS);
- důlní niklokaadmiové akumulátory k napájení přenosných svítlen v dolech (NKDU).

Od výrobce může být dodán alkalický akumulátor před uvedením do provozu:

- formovaný s elektrolytem, nabitý, schopný okamžité činnosti;
- bez elektrolytu, zformovaný, s vlhkými elektrodami.

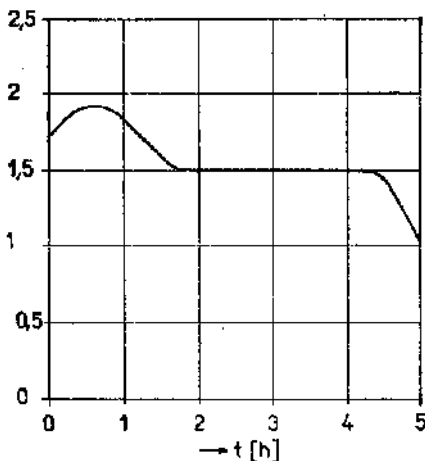
11. Stříbrozinkové akumulátory

Stříbrozinkové akumulátory mají kladnou elektrodu se sintrovaného stříbra a zápornou z kysličníku zinečnatého. Elektrolytem je hydroxid draselný (KOH) s přísadou alkalického zinečnanu.

Elektrochemický pochod při nabíjení a vybíjení:

elektroda	kladná	záporná
nabitý stav		Zn
přeměňuje se na	Ag_2O	
vybitý stav	Ag	ZnO

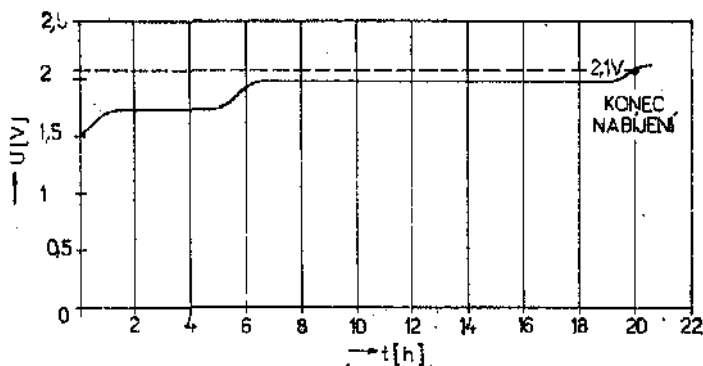
Vybíjení má dva stupně: nejdříve se redukuje kysličník stříbrnatý Ag_2O_2 na kysličník stříbrný Ag_2O . V druhém stupni se zmenšuje vybíjení napětí článku na charakteristickou velikost asi 1,5 V, kysličník stříbrný se redukuje na čisté stříbro. Na záporné elektrodě oxiduje zinek při obou stupních vybíjení na kysličník zinečnatý ZnO. Hustota elektrolytu se během vybíjení téměř nemění. Pro konec vybíjení je charakteristický prudký pokles napětí.



Obr. 16. Průběh napětí při vybíjení stříbrozinkového akumulátoru

První stupeň vybíjení (viz charakteristika na obr. 16) je charakteristický napětím kolem 1,8 V. Toto napětí si akumulátor zachovává asi po čtvrtinu celkové doby vybíjení. Pak se napětí zmenší na 1,5 V a toto napětí si akumulátor udržuje po celou dobu vybíjení. Konečné vybíjecí napětí se udává kolem 1,2 V až 1 V na článek a při dalším vybíjení se napětí rychle zmenšuje k nule.

Průběh nabíjecího napětí je ovlivněn změnou vnitřního odporu. Průběh změny nabíjecího napětí během nabíjení má též dva výrazné stupně (obr. 17). Průměrné napětí v prvním stupni nabíjení je 1,7 V (první stupeň nabíjení trvá asi čtvrtinu celkové nabíjecí doby). Při druhém stupni nabíjení se napětí zvětšuje asi na 1,9 V a zůstává až



Obr. 17. Průběh napětí při nabíjení stříbrozinkového akumulátoru

do konce nabíjení konstantní. Znakem ukončeného nabíjení je prudké zvětšování napětí. Přebíjení stříbrozinkovým akumulátorem velmi škodí. Nabíjecí napětí nesmí překročit 2,1 V na článek.

Vnitřní odpor akumulátoru se skládá z odporu elektrolytu a z odporu desek. Největší vliv na změnu vnitřního odporu stříbrozinkových akumulátorů mají změny na kladné elektrodě. Během vybíjení se totiž odpor kladné elektrody zmenšuje přeměňováním vícemocných kysličníků stříbra na čisté stříbro. Mimoto se při redukci kysličníků uvolňují póry činné hmoty kladné desky, čímž se zlepšuje difúze elektrolytu do kladné desky a zmenšuje se vnitřní odpor akumulátoru. Proto má změna vnitřního odporu stříbrozinkového akumulátoru velmi příznivý charakter, neboť je opačná než u jiných typů akumulátorů. Vybíjením se tedy vnitřní odpor neustále zmenšuje, což má za následek skoro stále napětí akumulátoru téměř po celou dobu vybíjení. Číselně se udává vnitřní odpor jednoho článku u akumulátorů o kapacitě 10 Ah asi 0,03 až 0,06 R, ve vybitém stavu asi 0,015 až 0,025 R. U článků akumulátoru o kapacitě 100 Ah v nabitém stavu je vnitřní odpor asi 0,015 R, ve vybitém stavu asi 0,003 R.

Konstrukce stříbrozinkových akumulátorů se podstatně neliší od konstrukce ostatních druhů akumulátorů. V porovnání s ostatními druhy akumulátorů má však stříbrozinkový akumulátor menší objem,

neboť se dokonaleji využívá. Kladné elektrody (desky) se řezou ze sintrovaných stříbrných desek. Vždy dvě elektrody jsou svařeny a tvoří vývod jednoho pólu. Záporné desky se vyrábějí z práškovitého kysličníku zinečnatého, který se lisuje s pojidlem (prášek je navlhčen v hydroxidu draselném). Jako oddělovače slouží celofánové obaly. Desky se obalují celofánovým papírem vždy dvě společně. Jejich přeložením se vytvoří dvojice, do níž se zasune záporná deska, rovněž zabalená v celofánu. Záporné desky musí být ihned po zhotovení (nejpozději do 24 h) ponořeny do elektrolytu, neboť jinak vzniká působením vzduchu uhličitán draselný, škodlivý pro akumulátor. Z tohoto důvodu musí být i během provozu desky neustále ponořeny v elektrolytu a stříbrozinkový akumulátor se nesmí skladovat suchý, s vylitým elektrolytem.

Sady kladných a záporných desek se umísťují do průhledné nádoby z plastické hmoty. Záporných desek je vždy o jednu více než kladných desek. Víčko nádoby je opatřeno plnicím otvorem pro elektrolyt a zátkou s ventilem pro únik plynů.

Elektrolytem stříbrozinkových akumulátorů je roztok 40 % KOH, 5 % ZnO a 55 % H₂O. Elektrolyt se téměř všechen absorbuje do desek, volného elektrolytu je v akumulátoru velmi málo. V porovnání s olověným akumulátorem stejné kapacity je to pouze 1/4 až 1/7 celkového množství. Tlakem celofánu, který přijme část elektrolytu a nádoba, jsou sady desek v nádobě zajištěny tak, že celek je pevný a odolný proti nárazům a otřesům.

V porovnání s jinými druhy akumulátorů má stříbrozinkový akumulátor větší měrnou kapacitu. Stříbrozinkový akumulátor má asi 1/2 hmotnosti a 1/3 objemu niklokadmiového akumulátoru stejné kapacity. Má ze všech běžných akumulátorů největší účinnost, pracuje dobře při teplotách od -40 °C do +40 °C. Vydří větší proudová zatížení i vybíjení zkratovým proudem bez poškození. Lze ho skladovat i ve vybitém stavu. Samovolné vybíjení je asi 20 % za měsíc.

Nevýhodou stříbrozinkového akumulátoru jsou:

velká citlivost na přebíjení,
citlivost na pokles hladiny elektrolytu,
krátká doba života (udává se 350 až 400 cyklů, většina článků má však v praxi dobu života 100 až 130 cyklů a po 50 cyklech se kapacita akumulátoru již zmenšuje),
značná cena.

Přesto se stříbrozinkové akumulátory používají, zejména typy s menšími kapacitami, a to ve sdělovací technice, fotografických přístrojích, v letectví, v náročnějších měřicích přístrojích, u špičkových motorových vozidel atd.

Pražská akumulátorka, n. p. Mladá Boleslav vyrábí stříbrozinkové akumulátory pro napájení nejrůznějších přenosných přístrojů pod označením SZ (tab. 8).

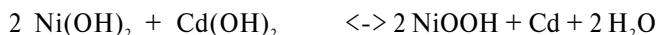
Tabulka 8. Stříbrozinkové akumulátory
(výrobe© Pražská akumulátorka, n. p. Mladá Boleslav)

Typ	Jmenovitá kapacita akumulátoru Ah	Jmenovité napětí V	Rozměry mm	Hmotnost kg
SZ3.5	3,5	1,5	40x14x70	0,062
SZ6.5	6,5	1,5	40 x 23 x 70	0,105
SZ13	13	1,5	50,3x23,3x101	0,210
SZ25H	25	1,6	40x38x116	0,340
SZ50	50	1,5	92,5x44,5x109	0,730

12. Uzavřené niklokadmiové Články

Při nabíjení každého akumulátoru dochází k elektrolyze vody, obsažené v akumulátoru. Plyný vodík se s kyslíkem v akumulátoru hromadí, jejich tlak se postupně zvětšuje a tento jev nedovoluje akumulátor neprodyšně uzavřít. Proto je třeba nabíjet běžné akumulátory s vyšroubovanými plnicími zátkami; tyto obtíže se podařilo vyřešit pouze u alkalických akumulátorů NiCd.

Z hlediska přeměny elektrické energie na chemickou a naopak je uzavřený niklokadmiový článek stejný jako běžný Článek neuzavřený. Aktivními součástkami elektrod jsou v nenabitěm stavu na kladné elektrodě Ni(OH)_2 a na záporné elektrodě Cd(OH)_2 . Elektrolytem je vodný roztok KOH. Nabíjení a vybíjení lze popsat rovnicemi



přičemž směr šipky zleva doprava popisuje děj při nabíjení.

Reakce při nabíjení probíhá podle uvedené rovnice až do úplného nabití. Při přebíjení se rozkládá kyslík na kladné a vodík na záporné elektrodě. Hromadění kyslíku se zabráňuje tím, že se volný kyslík váže na záporné elektrodě, která se tím současně i vybíjí, takže k žádnému dalšímu přebíjení nedochází a přestane se vylučovat vodík. V akumulátoru je třeba zabezpečit volný a rychlý „přechod“ plynného kyslíku na zápornou elektrodu; používané separátory musí být proto

dokonale průchodné pro plyny. Aby se zabránilo předčasnému uvolňování vodíku na záporné elektrodě, pracuje akumulátor s kapacitním přebytkem aktivní hmoty na záporné elektrodě (vzhledem k elektrodě kladné).

Po konstrukční stránce je akumulátor řešen tak, že jsou obě elektrody v článku slisovány a tloušťka oddělovacího separátoru je přitom velmi malá, řádu desetin milimetrů. Téměř všechen elektrolyt je vázán v aktivních pórech elektrod a v pórech separátoru. V článku není žádný prostor pro volné plyny a ani žádný tekutý elektrolyt. Reakce probíhají tak, že uvnitř uzavřeného článku nemůže vzniknout škodlivý přetlak, neboť při určitém malém přetlaku se utvoří rovnováha, při níž množství kyslíku, vázaného elektrochemicky, odpovídá množství volného kyslíku. Vzhledem k probíhajícím reakcím je tedy nutné při nabíjení dodržovat především velikost nabíjecího proudu podle předpisu výrobce.

Běžné akumulátory s lisovanými elektrodami jsou určeny pouze k provozu v cyklech (nabíjení — vybíjení), a to při dlouhých a středních vybíjecích časech; tzn., že sice snášejí přebíjení, nikoli však trvale. Elektrody uzavřených článků NiCd mohou být však vyráběny i způsobem jemného niklového prachu v ochranné atmosféře. Tímto způsobem lze zhotovit značně porézní desky (poréznost desek bývá až 80 % i více), které se během několika impregnačních cyklů nasatí aktivními hmotami. Takto vyráběné elektrody se nazývají sintrované. Akumulátor z nich vyrobený má značně lepší vlastností než běžný akumulátor. Snáší zhruba čtyřikrát větší nabíjecí proud než stejný akumulátor s lisovanými elektrodami. Výrobci dovolují někdy jeho zatěžování i zkratovým proudem. Má mnohem menší vnitřní odpor a může být připojen trvale ke spotřebiči a zdroji jako pomocný vyrovnávací zdroj, neboť snáší trvalé přebíjení. Cena akumulátorů se sintrovanými elektrodami je však značná, a proto tento typ akumulátoru ještě zdaleka nevytlačil běžný typ akumulátoru NiCd. Je však běžné, že výrobci (např. VARTA) nabízejí oba typy akumulátorů NiCd.

Jsou-li spojeny články do série, může dojít při jejich vybití na nulové napětí k přepólování článků. Zpravidla k tomu dojde tím, že některý z článků baterie se vybije dříve než ostatní články baterie. Ten se pak vybíjecím proudem ostatních článků nabíjí na opačnou polaritu. Poškození článků se zabraňuje přidávkem antipolárních hmot do jedné z obou elektrod; např. přímísením hydroxidu kademnatého do kladné elektrody se zamezí vzniku vodíku při změně polarity článků. Nicméně i takto zabezpečeným akumulátorům změna polarity škodí a

přepólování článku při nabíjení znamená zpravidla jeho zničení. Proto je třeba při spojování článků do série spojovat vždy články se stejnou kapacitou a nedoporučuje se vybíjet akumulátor více než na napětí 1 V na článek.

13. Vlastnosti uzavřených niklo-kadmiových článků

Uzavřený niklo-kadmiový článek nepotřebuje žádnou údržbu kromě nabíjení a může být považován za elektrotechnickou vestavnou jednotku do různých přístrojů a zařízení. Může pracovat v libovolné poloze. Na jeho pouzdro se však nesmí pájet přívody. Pro některá použití se prodávají akumulátory nebo články s přivřenými pájecími oky — i tehdy je však třeba chránit článek nebo akumulátor proti ohřátí při pájení přírodních vodičů. Článek má příznivou, poměrně plochou vybíjecí křivku. Po celou dobu vybíjení se jeho napětí zmenšuje velmi pomalu (obr. 15). Ke zmenšení napětí z 1,2 V na 1,1 V (tj. o 10%) dojde až po úbytku více než 50% kapacity článku. Počáteční napětí článku je asi 1,25 V (úplně nabitý článek) a konečné vybíjecí napětí je 1 V. (Pozn. Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky uzavřených akumulátorů NiCd jsou shodné s charakteristikami článků otevřených.)

Proti otevřeným akumulátorům stejné kapacity mají uzavřené akumulátory poněkud větší hmotnost; je to dáno nutností použít „kapacitní přebytek“ záporné elektrody a tlustší ocelový plech na plášť ke zvětšení odolnosti proti vnitřnímu přetlaku.

Některé zapouzdřené akumulátory, zejména s větší kapacitou (od asi 100 mAh), mají bezpečnostní ventilové pojistky. Otevře-li se však během používání akumulátoru pojistka, je článek zničen a jeho funkci nelze obnovit (stejně je tomu při vydutí pláště akumulátoru nebo článku).

14. Doba života článků NiCd a jejich nabíjení

U článků pracujících výhradně v cyklech nabíjení—vybíjení (např. v holicích strojích, u elektronických blesků, ve svítilnách apod.), které se v každém cyklu nabíjejí a vybíjejí až na horní a dolní hranici napětí, je doba života minimálně 300 cyklů (u článků s lisovanými elektrodami), popř. 500 cyklů (u článků se sintrovanými elektrodami). Předpokládá se však, že se články vybíjejí a nabíjejí jmenovitým

proudem. Úbytek kapacity Člátku po uvedeném počtu cyklů je asi 20 až 25 %. K úplnému zničení článků dochází mnohem později — články s lisovanými elektrodami lze používat ještě asi po 500 cyklech a se sintrovanými elektrodami po 800 cyklech. Nabíje-li se článek ihned po krátkém, částečném vybití, pak se doba jeho života značně prodlužuje. Dobíjí-li se článek vždy ihned po 10 až 15 % zmenšení kapacity Člátku, lze mnohdy počítat až s 15 tisíci částečných cyklů vybití—nabití. Přitom je rozhodující také způsob nabíjení. (Pozn. Údaje o době života byly převzaty z materiálů firmy VARTA.)

Většina výrobců uzavřených niklokadmiových článků doporučuje nabíjet je tzv. normálním proudem, který je určen 1/10 kapacity akumulátorů. Při použití nabíječek s odporovým omezením, u nichž se během nabíjení nabíjecí proud zmenšuje (v literatuře se též někdy označuje tento způsob nabíjení jako nabíjení podle křivky W), nemá být počáteční proud větší než $12 I_{jmen}$ tj. 1/12 kapacity akumulátoru a na konci nabíjení se nemá jmenovitý proud překračovat. Běžně vybitý článek nebo akumulátor je třeba nabíjet jmenovitým proudem 14 h (údaj firmy VARTA, n. p. Bateria Slaný doporučuje 16 h). Při nabíjení menším proudem je třeba dobu nabíjení příslušně prodloužit. Nabíjení se předpokládá při teplotě 20 °C. Velmi vybité akumulátory (i ty, u nichž se některý článek přepóloval) se doporučuje nabíjet dlouhodobě jmenovitým proudem (např. po dobu 24 h).

V praxi postupujeme tak, že většinou stav vybití nekontrolujeme. Je to jak obtížné, tak nepřesné. Jediným ukazatelem je napětí článku, a to je třeba změřit co nejpresněji. Protože krátké přebíjení akumulátoru neškodí, je zvykem u uzavřených akumulátorů, že je nabíjíme bez ohledu na stav vybití nejlépe konstantním proudem (jmenovitým) po dobu 14 až 16 h. Stejně zacházíme s novými akumulátory, které se prodávají většinou v polonabitém stavu.

Zrychlené nabíjení připadá v úvahu pouze u článků se sintrovanými elektrodami. Problémem u zrychleného nabíjení je nutnost přepnout nabíječ na jmenovitý proud k nabíjení akumulátoru v době, kdy se článek (nebo akumulátor) přibližuje stavu plného nabití. K tomuto účelu se používají přesné úrovněvé hlídače svorkového napětí nebo spínací hodiny. Obě metody jsou v praxi rovnocenné.

Byly dělány pokusy s tzv. třetí elektrodou, která byla zavedena na kladnou elektrodu. Na této pomocné elektrodě se objevilo napětí při začátku vývinu kyslíku. Tato metoda kontroly stavu nabití se však příliš neujala.

Uzavřené niklokadmiové články a akumulátory se vyrábějí v nej-různějších velikostech. Zajímavé jsou např. miniaturní akumulátory

VARTA, z nichž např. typ 10 DK o kapacitě akumulátoru 10 mAh má hmotnost pouze 0,9 g. Rozměry tohoto článku jsou: výška 5 mm a průměr 7,6 mm. Největší články mají kapacitu až několik desítek ampérhodin.

15. Palivové Články

Fyzikálněchemický princip palivových Článků je podobný jako u galvanických Článků a akumulátorů. Na záporné — palivové elektrodě Článku probíhá oxidační proces charakterizovaný uvolňováním elektronů z aktivní chemické látky. Touto aktivní látkou — palivem může být obecně každá plynná, kapalná nebo tuhá látka schopná okysličování (např. vodík, kysličník uhelnatý, hydrazin N_2H_4 různé uhlovodíky, alkoholy, organické látky, ale i kovy, jako např. zinek, olovo, kadmium, železo, hořčík, sodík aj.). Na druhé — kladné elektrodě musí současně probíhat redukční proces, který elektrony pohlcuje. Ubýváním elektronů na palivové elektrodě se porušuje reakční rovnováha, což umožňuje dalším molekulám paliva vstoupit do reakce. Na kladnou elektrodu palivového článku je přiváděno ještě okysličovadlo, jehož vlastností je přijmout elektrony, které k němu byly přivedeny. Okysličovadlem může být opět látka plynná, kapalná nebo pevná (kyslík, vzdušný kyslík, chlór, peroxid vodíku, kysličníky manganu, olova, niklu, stříbra, rtuti aj.). Přítomnost okysličovadla se projeví ustavením potenciálu elektrody, který je proti palivové elektrodě kladný. Rozdíl mezi oběma potenciály elektrod určuje v daném okamžiku velikost elektromotorického napětí článku. Přerušíme-li vnější vodivé spojení (vnější elektrický obvod), nemohou přecházet elektrony ze záporné elektrody na kladnou a elektrochemická reakce na obou elektrodách se okamžitě zastaví.

Zásadní rozdíl mezi palivovými a běžnými galvanickými články je v tom, že aktivní chemické látky (tj. palivo a okysličovadlo) jsou na elektrody přiváděny z vnějších nádrží. Charakter elektrod je tedy pouze katalytický. Elektrody se zúčastní reakcí některými svými komponenty, ale jejich chemické složení se při tom nemění a žádná ze složek se neopotřebovává. Kontinuální přivádění paliva na anody a okysličovadla ke katodám baterie je technicky nejsnazší u plyných a kapalných látek. Pevná paliva a okysličovadla se zatím pouze zkoušejí.

Tím, že zásoba proudotvorných chemických látek není uložena přímo v elektrodách Článku, ale je umístěna vně zdroje a může být neomezeně doplňována bez přerušení provozu, mizí u palivových článků pojem kapacita článku. Nelze tedy mluvit o množství elektric-

kého náboje, který je schopen Článek za určitých podmínek poskytnout. Článek je charakterizován velikostí proudu nebo výkonu na plochu jednoho cm^2 . Kvalita palivového článku se pak určuje zpravidla velikostí měrného hmotnostního výkonu (W/kg) a objemového výkonu (W/l).

Mezi dobou života a měrným výkonem palivového článku existuje vztah, vyplývající ze skutečnosti, že jak doba života elektrod, tak velikost měrného výkonu závisejí na proudové hustotě, při které elektrody pracují.

16. Porovnání palivových článků s jinými zdroji elektrické energie

Možnost nepřetržitého dodávání reagujících látek dělá z palivového článku stroj na přímou přeměnu chemické energie na elektrickou. Tak se dostává tato skupina článků do pozice, ve které je můžeme porovnávat s ostatními stroji na výrobu elektrické energie. Je třeba hned říci, že nynější stupeň vývoje palivových baterií nedovoluje ještě porovnávat pořizovací ceny palivových článků ani ekonomii jejich provozu s ostatními stroji na výrobu elektrické energie. Ceny dostatečně elektrochemicky aktivních katalyzátorů i ceny používaných paliv jsou příliš vysoké. Proto se zatím palivových článků používá převážně tam, kde výška pořizovací investice a cena provozu není rozhodující nákladovou složkou. Je to zejména v kosmickém výzkumu a u vojenských zařízení. Co se týče použití v automobilismu, existovaly předpovědi, které tvrdily, že palivová baterie umožní vítězství elektromobilů nad automobily a běžnými spalovacími motory. I když závratně stoupající ceny nafty a nečistota ovzduší nutí výzkum hledat nové zdroje energie k pohonu vozidel, není zřejmé, že by se právě palivový článek k tomuto účelu nejlépe hodil. Při současných způsobech konstrukce těchto článků je nemožné získat při ekonomických rozměrech palivový článek, který by byl schopen pracovat ve stejném rozsahu výkonů jako spalovací motor. Uvažuje se o kombinaci palivový článek—akumulátor pro pohon elektromobilů. Palivový článek by pracoval během provozu elektromobilu s konstantním výkonem a rozdíl výkonu (např. při rozjíždění) by byl kryt z trvale dobíjeného akumulátoru.

Při posuzování možností palivových článků v praxi si uvedme známé údaje z projektu Gemini. Kosmický modul vyžadoval nepřetržitou dodávku elektrické energie o výkonu 0,5 kW po dobu 350 h s možností občasné zvětšit odběr výkonu na 1 kW. Takovou potřebu elektrické energie nebylo možné krýt ze slunečních baterií. Motorogenerátor je hlučný, vibruje, spotřebovává kyslík a palivo a ještě vylučuje exha-

lace. Firma General Electric vyrobila palivovou baterii vodík-kyslík. Porovnáme-li tuto baterii s jinými zdroji elektrické energie, jsou výhody palivové baterie zřejmé. Pro dodávku požadovaných 175 kWh je zapotřebí vzít na palubu kosmického modulu buď 8000 kg olověných akumulátorů, popřípadě 2300 kg stříbrozinkových akumulátorů nebo palivovou baterii o hmotnosti pouhých 30,8 kg se zásobou kapalného vodíku a kyslíku o celkové hmotnosti 69 kg. Přitom 69 kg vody, kterou palivová baterie po reakci vyloučila, bylo možno ještě v kosmickém modulu použít.

Energetická účinnost přímé elektrochemické přeměny energie na elektrickou je větší, než když elektrickou energii vyrábíme obvyklou cestou přes tepelný mezistupeň. Číselná porovnání se musí provádět na konkrétních případech, ale není výjimkou dvojnásobná energetická úspora.

Palivové články mají ještě mnoho dalších předností. Je to zejména nepřítomnost škodlivých exhalací při vybíjení, nehlučnost, přetížitelnost 500 % po dobu několika minut a 750 % po dobu několika sekund. Dále je to velká doba života. Elektrody současných palivových článků mají dobu života až desetitisíce hodin.

17. Specifické podmínky provozu palivových baterií

Tím, že má palivový článek charakter stroje s možností práce v dlouhodobém nepřetržitém provozu, objevuje se mnoho obtíží, které se u dosavadních chemických zdrojů energie nevyskytovaly. U galvanických článků a akumulátorů mohou zůstat zplodiny chemických reakcí v systému zdroje. U kontinuálně pracujícího zařízení je třeba postarat se o jejich průběžné odstraňování v závislosti na množství odebraného proudu. Jinak se poruší optimální poměry, při nichž článek má největší účinnost. U palivové baterie vodík-kyslík jde o Čerpání vody, u uhlíkatých paliv o produkty oxidace. Palivová baterie bez odvodu zmíněných produktů dostává charakter akumulátoru, u něhož je nabíjení nahrazováno výměnou elektrolytu.

Značným problémem u palivových baterií je udržování optimální teploty. Zvýšená teplota urychluje reakce a zvětšuje měrný výkon zdroje. Ulehčuje také např. odstraňování vody, která vzniká při reakci na elektrodách. Na druhé straně je však zapotřebí udržet teplotu pod bodem varu elektrolytu, což je u běžně používaného třicetiprocentního roztoku KOH asi 110 °C. Palivová baterie o výkonu např. 1000 W, pracující s účinností 60 %, produkuje vedle požadovaných 1000 W elektrické energie ještě 40 %, tedy téměř 700 W energie tepelné. Rovnoměrné odvádění tepla ze všech článků baterie se řeší různými

způsoby. Nejsnadnější je cirkulace elektrolytu přes výměnník tepla s chladičem. To vyžaduje doplnit baterii ještě čerpadlem, chladičem a ventilem ovládaným teplotou.

Je také problém urychleného uvedení baterie do optimální pracovní teploty po spuštění, tedy na začátku provozu. Běžné je ohřívání baterie proudem, který baterie sama poskytuje za studena, při běžné teplotě okolí. To bývá asi 30% výkonu, který dává baterie při pracovní teplotě. Je samozřejmě možné nahřívát baterii i z jiného zdroje tepla. Při krátkodobém přerušovaném provozu lze teplotu udržovat dobrou izolací pláště celé baterie. Jinak je vždy nutná určitá doba přípravy baterie, která je v současnosti asi 30 minut.

Kromě teploty je třeba i pracovní tlaky plynu udržovat v elektrodách na optimální velikosti. Používají se zde redukční ventily, manostaty a další zařízení. Má-li se jako okysličovadlo použít vzdušný kyslík, musí mít baterie ještě kompresor, je-li použit alkalický elektrolyt, je potřebné ještě promývací zařízení odstraňující CO₂.

Ze všeho, co jsme uvedli, je zřejmé, že konstrukce palivové baterie není jednoduchá. Kromě elektrod musí být vybavena poměrně složitým a drahým příslušenstvím s automatickou regulací.

18. Konstrukce palivových baterií

Většina palivových baterií pracuje s plynným palivem a všechny s plynným okysličovadlem. Ve výkonné elektrodě je třeba vytvořit co největší počet míst, kde se mohou současně setkat tři fáze: plynná aktivní látka, kapalná — elektrolyt a pevná elektroda s katalyzátory. Elektroda obsahující dvě vzájemně se prolínající soustavy pórů a kapilár o poloměrech r_1 a r_2 má takových trojfázových rozhraní dostatečné množství. Jeden druh pórů je při činnosti elektrody vyplněn plynem a druhý elektrolytem. Dosahuje se toho v zásadě dvěma způsoby:

a) využívá se fyzikálního vztahu mezi kapilárním vztlakem a poloměrem pórů. Vrstvy elektrod se vytvoří slisováním z vytríděných materiálů, jejichž zrna zaručují, že po slisování zůstanou v elektrodě kapilární mezery o poloměru $r_2 = 10^{-6}$ m. Kapalina by do těchto mezer byla schopna proniknout např. při tlaku 0,2 MPa. Před slisováním bylo do elektrody promícháno množství zrn ze snadno rozpustné látky, která po odplavení nebo vytavení vytvoří v elektrodě ještě kapiláry o větším průměru, např. $25 \cdot 10^{-6}$ m. Kapalina do těchto kapilár vnikne již při tlaku 0,01 MPa. Pracovní tlak baterie se pak udržuje mezi 0,05 až 0,1 MPa. Takto vytvořeným elektrodám se říká difúzní a jsou většinou kovové;

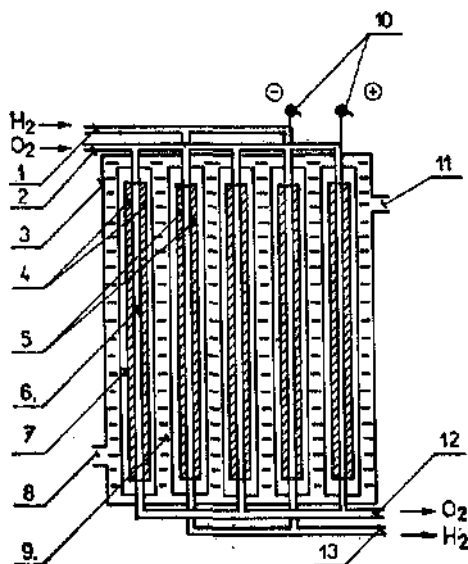
b) pórovitá elektroda se hydrofobizuje, tj. upravuje se vnitřní struktura pórů nanášením nebo spíše smáčením v organických polymerech. Stěny pórů mají pak proti elektrolytu různou smáčivost, takže se některé kapiláry elektrolytem zaplní a jiné zůstanou vyplněny plynem. Elektrody plní svou funkci bez přetlaku plynu. Hydrofobizace však snižuje aktivitu elektrod a není stálá, což snižuje dobu života baterie. Uvedeného způsobu se používá zejména u uhlíkových elektrod;

c) elektrody pro kapalné aktivní látky (např. metylalkohol nebo hydrazin) jsou mnohem jednodušší, neboť pracují jenom se dvěma fázemi — kapalnou a pevnou. Jejich porézní struktura není příliš důležitá, požaduje se co největší povrch. Paliva se přivádějí k elektrodám rozpuštěná v elektrolytu.

Při konstrukci soustavy elektrod se v současnosti používá dvou systémů: akumulátorového systému a systému tlakového filtru.

Akumulátorový systém

Princip je patrný z obr. 18. Do nádoby 3 s elektrolytem 9 je uložen odizolovaný svazek anodových elektrod 4 a katodových elektrod 5, podobně jako např. u olověných akumulátorových baterií. Každá elektroda svazku je konstruována jako samostatná tlaková nádoba, jejíž stěny jsou tvořeny pórovitým obalem, plnícím funkci krycí vrstvy.



Obr. 18. Palivová baterie s akumulátorovým systémem

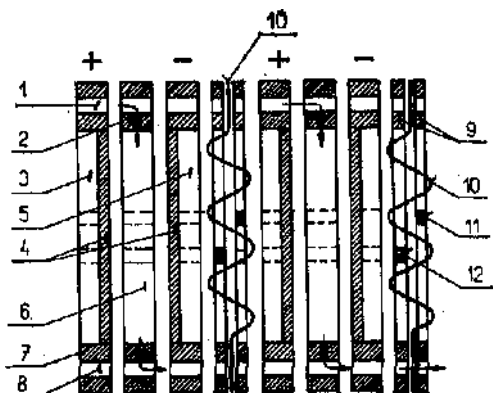
Střední vrstva 6 je niklová s obzvláště velkými póry ($r = 0,15$ až $0,25$ mm). Je neaktivní a slouží jen k rozvedení plynné aktivní látky do plochy elektrody. Po obou stranách této rozvodné vrstvy jsou pracovní vrstvy stejného složení, obsahující katalyzátory a mající dva druhy pólů o poloměrech r_1 a r_2 , o jejichž funkci byla zmínka již dříve. Elektrody jsou vyrobeny spékáním kovových prachů, např. vodíková anoda z karboniklového niklu a katalytického Raneova niklového katalyzátoru. Kyslíková katoda z karboniklového niklu a ze stříbrného katalyzátoru.

Do středních rozvodových vrstev 6 dvojstranných elektrod se přivádějí plyny pomocí přívodů 1 a 2, které jsou kovové a slouží zároveň jako vývody proudu z elektrod na svorky článku 10. Desky stejné polarity jednoho článku jsou paralelně spojeny kovovým potrubím. Plyny procházející elektrodami, kde se z nich spotřebovávají aktivní složky cizí látky (např. dusík ze vzduchu, stopy argonu, přítomné v čistém kyslíku aj.), se koncentrují a jsou s částí aktivního plynu odváděny z elektrod do výfukového potrubí 12 a 13. Otvory 8 a 11 ve stěně nádoby slouží k cirkulaci elektrolytu. Počet elektrod v jednom článku není téměř ničím omezen.

Výhodou akumulátorového uspořádání je plynotěsnost elektrod bez použití těsnění na jejich obvodu, které je ve velmi korozivním prostředí problémem. Nevýhodou je poměrná robustnost konstrukce a obtíže při výrobě elektrod velkých průměrů.

Systém tlakového filtru

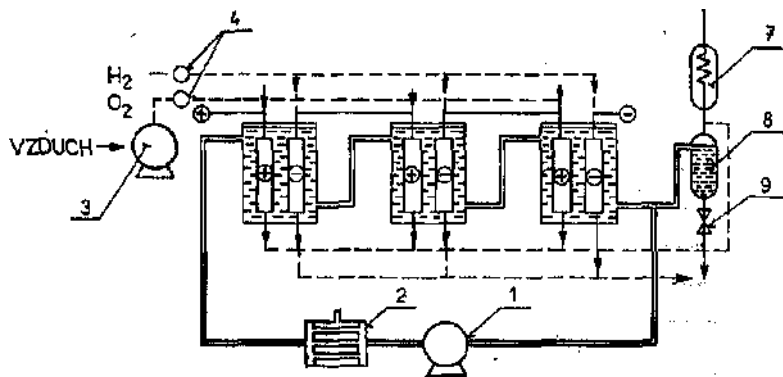
Princip konstrukce byl převzat z tlakových filtrů na kapaliny a tlakových elektrolyzérů vody. Součástí baterie (obr. 19) jsou obvodové rámy 7 s kanály pro rozvod elektrolytu a obou plynů. Rámy jsou



Obr. 19. Palivová baterie na systému tlakového filtru.

k sobě staženy svorníky v kompaktní celek, ukončený čely, nesoucími vývody všech kanálů a svorky baterie. Elektrolyt přitéká kanálem 1 do izolačního rámu 2 a vyplňuje prostor mezi anodou 5 a katodou 3. Protéká jím a je odváděn sběracím kanálem 8 k cirkulačnímu Čerpadlu. Elektrody 3 a 5 jsou vyrobeny z téže aktivní hmoty jako u předchozího typu palivové baterie, ale opatřeny ve směru k elektrolytu 6 krycí vrstvou 4, která brání pronikání aktivních plynů do elektrolytu. Plyn se odvádějí kanály v rámech, jejichž ústí tvoří výřezy v prstencových těsněních 9, označené ve schématu 11 a 12. Podobnými výřezy na protější straně těsnění se plyny odvádějí z koncentrované interní příměsi sběracími kanály do výfukového potrubí. Jeden článek baterie je tedy tvořen rámem s kladnou jednostrannou elektrodou 3, rámem 2 s elektrolytem 6 a rámem se zápornou elektrodou 5. Elektrické propojení článků do série je provedeno kovovou fólií 10. Fólie tvoří zároveň plynové komory pro přiléhající elektrody a jsou tedy z každé strany obtékány jedním aktivním plynem.

Za výhody tohoto uspořádání se považuje kompaktnost konstrukce, možnost použít velmi tenké elektrody a téměř plošné elektrické spojení mezi jednotlivými: články, významné zejména při velkých proudových hustotách. Kruhová elektroda o průměru 250 mm dává trvale proud 50 A, špičkově až 350 A při napětí článku 0,6 až 0,7 V. Systémem tlakového filtru je provedena většina palivových baterií.



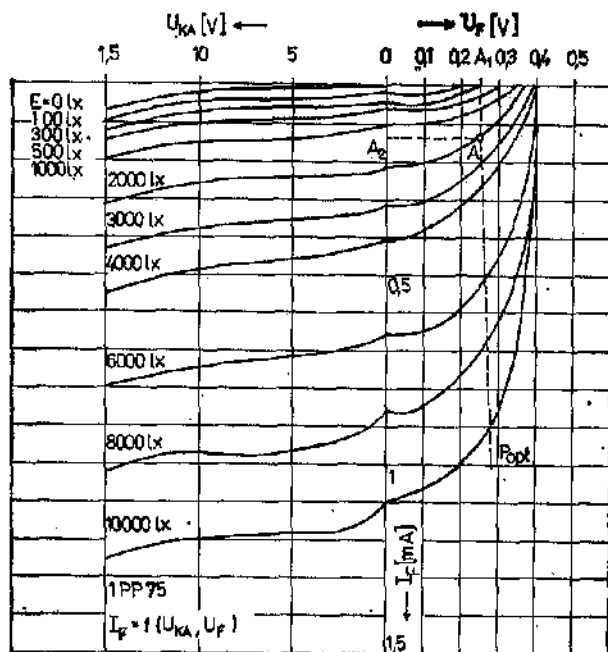
Obr. 20. Palivová baterie vodík—vzdušný kyslík

Na obr. 20 je schéma palivové baterie na vodík a vzdušný kyslík s příslušenstvím. Teplota elektrolytu 95 °C se udržuje různě rychlou cirkulací elektrolytu přes výměník tepla 2 pomocí Čerpadla 1. Ve výměníku se elektrolyt při startu ohřívá a při provozu chladí. Vzduch

hnaný kompresorem 3 přes manostat 4 se při průchodu elektrodami článků nasatí vodní parou a ochuzený o část svého kyslíku odchází zpět do atmosféry přes chladič 7. Zkondenzovaná voda stéká do nádoby 8 a po jejím naplnění přitéká zpět do elektrolytu. Odevzdá-li baterie jistý počet ampérhodin, dostane magnetický ventil 9 impuls k vypuštění přebytečné vody z nádoby mimo soustavu.

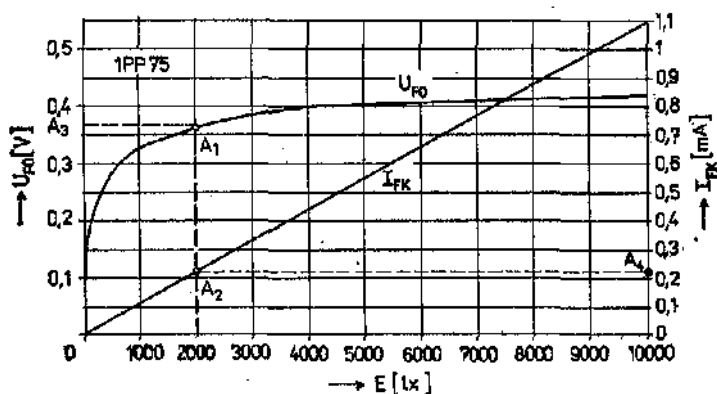
19. Sluneční baterie

Sluneční baterie je zařízení, které přeměňuje světelnou a částečně i tepelnou energii, dopadající na jeho aktivní plochu, přímo na elektrickou energii. Využívá se k tomu jevu, který vzniká na styku dvou polovodičových vrstev, tzv. hradlového jevu. Hradlový jev lze pozorovat u všech polovodičových prvků, tj. jak u křemíku, tak např. i u germania, selenu atd. Energetická účinnost článků využívajících



Obr. 21. Voltampérová charakteristika křemíkové fotonky 1 PP 75

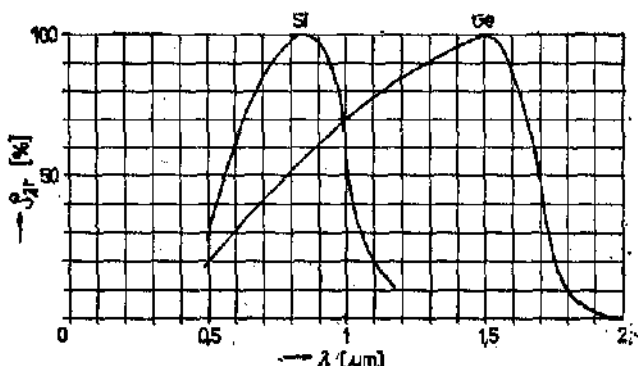
hradlového jevu je však velmi malá — k dosažení i malého elektrického výkonu je třeba intenzivní osvětlení a velká osvětlená plocha polovodičového prvku. Kdybychom chtěli použít ke zhotovení sluneční baterie běžně dostupnou polovodičovou součástku, máme k dispozici



Obr. 22. Závislost napětí naprázdno a proudu nakrátko na osvětlení u fotonky 1 PP 75

křemíkovou fotonku 1PP 75. Podle katalogu má tato dioda napětí U_{KA} (závěrné napětí za tmy a při proudu 50 uA) větší než 5 V a napětí U_{F0} (hradlové napětí naprázdno) alespoň 0,3 V při osvětlení 1000 lx. Hradlový proud do zkratu I_{FK} je alespoň 70 uA při osvětlení 1000 lx. Mnohem dokonaleji než tyto údaje charakterizují diodu dvě charakteristiky — obr. 21 a obr. 22. Na obr. 21 je charakteristika, u níž je parametrem osvětlení, na obr. 22 je závislost proudu nakrátko a hradlového napětí naprázdno na osvětlení. Vidíme, že dioda v propustné části charakteristiky pracuje jako zdroj napětí. K hrubé orientaci ještě dodejme, že běžné osvětlení v místnosti je asi 300 lx, osvětlení na pracovním stole průměrně 500 lx, v přírodě, je-li slunce za mraky, je osvětlení asi 800 lx, přímé sluneční světlo asi 2000 lx. Dále je ovšem třeba, abychom si uvědomili, že ke vzniku napětí na polovodičovém přechodu je třeba pouze určité části spektra světelného záření. Tato závislost je vyjádřena charakteristikou relativní spektrální citlivosti závislé na vlnové délce světla (obr. 23). Tato charakteristika platí obecně pro každou hradlovou diodu jak křemíkovou (křivka Si), tak germaniovou (křivka Ge). Z charakteristiky vyplývá, že zejména pro křemíkové fotonky je nejvhodnější zdroj světla sluneční záření a že některá monochromatická světla (např. světlo výbojky, zářivky) nelze

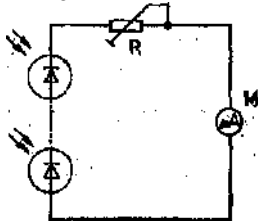
křemíkovou fotonkou měřit, aniž by nebyl výsledek měření zkreslený. Využití nevhodného monochromatického světla pro přeměnu na elektrickou energii je tedy sporné.



Obr. 23. Charakteristika spektrální citlivosti (označuje poměrnou spektrální citlivost)

Jaký výkon je dioda schopna dodat, lze odvodit z uvedených charakteristik. Počítáme-li např. s osvětlením 2000 lx, protne voltampérová charakteristika na obr. 21 křivku optimálního zatížení diody v bodu A . Vedeme-li v tomto bodu rovnoběžku s osami souřadnic, dostaneme průsečíky, určující napětí a proud, tj. body $A_1 = 0,25$ V a $A_2 = 150$ uA. Toto napětí a proud dodá dioda samozřejmě pouze tehdy, má-li optimální zatěžovací odpor, tj. $250 \text{ mV}/150 \text{ uA} = 1800 \text{ R}$. Údaje naprázdno určíme snadno z charakteristiky na obr. 22. Bod A_3

nx 1PP75



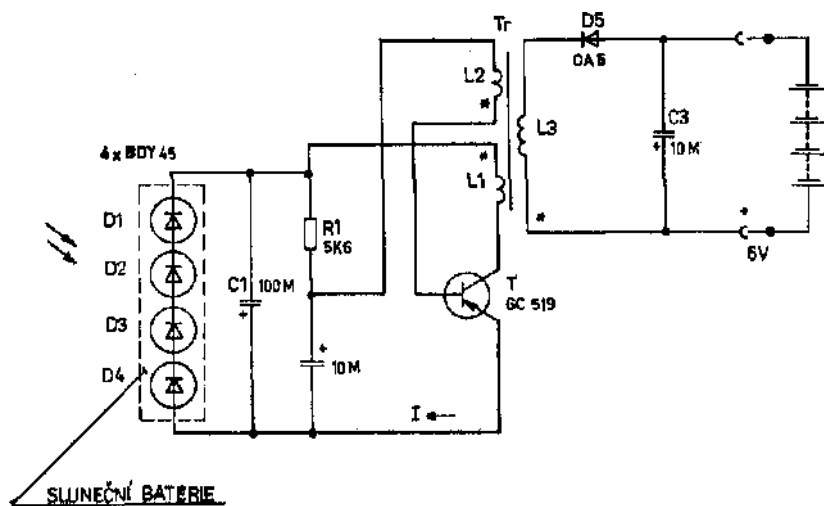
Obr. 24. Měření dopadajícího světla

určuje napětí naprázdno při osvětlení 2000 lx a bod A_4 proud nakrátko při stejném osvětlení.

Hradlového jevu fotonky 1PP 75 lze využít v praxi, např. k měření osvětlení (schéma obr. 24). Počet diod určíme podle výkonu, který

potřebujeme k plné výchylce ručky měřidla (při uvážení ztráty na předřadném odporu R , jímž lze přístroj cejchovat). Stupnici měřidla cejchujeme buď přímo v luxech, nebo (pro fotografické účely) osvitovým číslem.

Pro sestavování do sluneční baterie se fotonka 1PP 75 nehodí (má malou aktivní plochu). Pro tyto účely jsou vyráběny v zahraničí vhodnější součástky; např. v NDR fa VEB Rohrenwerk vyrábí selenové fotoelementy, kde nejmenší typ SeG 18 má aktivní plochu $1,3 \text{ cm}^2$ a největší SeH 1S X 23 plochu $2,6 \text{ cm}^2$.



Obr. 25. Dobíječ malých článků NiCd napájený ze sluneční baterie (hvězdičky značí začátky vinutí)

Na obr. 25 je dobíječ čtyř malých uzavřených niklo-kadmiových článků napájený z jednoduché sluneční baterie. V zapojení jsou použity čtyři hradlové křemíkové fotodiody, typ BPY 45 (výrobce Siemens). Každá fotodioda má aktivní osvětlovanou plochu $1,8 \text{ cm}^2$, citlivost 1 uA/lx . Tranzistor T a transformátor Tr tvoří oscilátor s kmitočtem asi 10 kHz . Střídavé napětí na sekundární straně transformátoru se usměrňuje diodou $D5$, filtruje kondenzátorem $C3$ a přivádí se na malé uzavřené niklo-kadmiové články. Proud I , procházející emitorem T , je při plném osvětlení $2,5 \text{ mA}$. Účinnost dobíječe je asi 60% .

Dobíječ je schopen při plném osvětlení, tj. asi 2000 lx , dodat výkon 3 mW , což stačí k trvalému dobíjení malých článků. Ty pak mohou

přerušovaně napájet malý tranzistorový rozhlasový přijímač, elektricky natahované hodinky apod.

Rozpiska součástek dobíječe podle obr. 25

D1 až D4 . . . B D Y 45 Siemens

Dg . . . O A 5

T . . . G C 519

R1 . . . 5,6 kOhm TR 151

C1 . . . 100 uF Te 986

C2, C3 . . . 10 uF TE 986

Tr . . . transformátor: jádro ferit E 10

L1: 270 z, průměr 0,1 CuL

L2: 60 z, průměr 0,08 CuL

L3: 1000 z, průměr 0,05 CuL

III. ZKOUŠENÍ A MĚŘENÍ ELEKTROCHEMICKÝCH ZDROJŮ

20. Zkoušení a měření galvanických článků a akumulátorů

O měření a zkoušení galvanických článků a akumulátorů pojednávají normy ČSN 36 4110, ČSN 36 4310 a ČSN 36 4350. V běžné praxi však vystačíme s měřeními méně přesnými, než předepisují normy. Obvykle nám totiž jde o relativní zjištění celkového stavu článku nebo akumulátoru. Nejběžnější měření jsou:

- a) měření napětí naprázdno akumulátoru,
- b) měření vnitřního odporu akumulátoru,
- c) měření impedance akumulátoru,
- d) měření kapacity akumulátoru.

U akumulátorů dále měříme:

- a) hustotu elektrolytu,
- b) startovací schopnost (u startovacích akumulátorů),
- c) dobu života,
- d) odolnost proti přebíjení.

Výsledky některých z uvedených měření poskytuje uživateli výrobce článků nebo akumulátorů. Mnohdy však údaje od výrobce nestačí, nebo nejsou k dispozici. Je proto třeba obzvláště při speciálních případech použití akumulátorů, abychom některá měření provedli sami.

21. Měření napětí naprázdno

Napětí naprázdno U_0 měříme při nezatíženém článku nebo akumulátoru voltmetrem s velkým vnitřním odporem a s odpovídající přesností. Při přesných měřeních se používá kompenzační metody a jako normálu napětí se používá Westonův článek. V poslední době se využívá přesných číslicových voltmetrů.

22. Měření vnitřního odporu článku nebo akumulátoru

Vnitřní odpor R_v se měří podle obr. 26. Voltmetrem s velkým vnitřním odporem změříme nejprve napětí naprázdno U_0 . Pak sepneme spínač S a změříme svorkové napětí na zatíženém článku. Vnitřní odpor vypočítáme pomocí rovnice

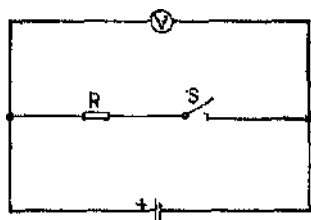
$$R_v = \frac{R(U_0 - U)}{U}$$

kde R je zatěžovací odpor a U svorkové napětí zatíženého článku. Vnitřní odpor článků a akumulátorů není konstantní veličinou. Většinou nás zajímá jeho změna během vybíjení článků nebo akumulátorů. Během vybíjení se totiž obvykle vnitřní odpor zvětšuje, což má za následek zmenšení pracovního napětí (výjimku tvoří stříbrozinkový akumulátor). S touto okolností je třeba při návrhu elektronických přístrojů, napájených z elektrochemických zdrojů, počítat.

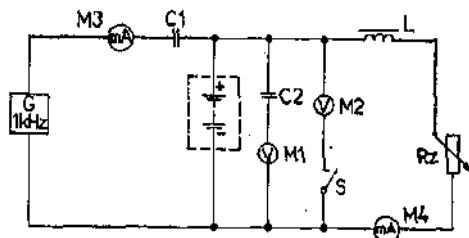
23. Měření impedance článku nebo akumulátoru

Důležitou vlastností článků a akumulátorů je jejich impedance. Tato impedance se uplatňuje nejvíce tehdy, používáme-li ji jako součást obvodů elektronických zesilovačů apod. Po určité době může takový obvod značně změnit svoje vlastnosti, aniž došlo ke snížení svorkového napětí pod přípustnou mez. Může dojít ke zkreslování signálu, nežádoucímú kmitání obvodu apod.

Protože se impedance akumulátorů a ostatních elektrochemických zdrojů mění během vybíjení, je vhodné znát její velikost v několika bodech vybíjecí charakteristiky. Často postačí znát alespoň impedanci nabitého a vybitého článku.



Obr. 26. Měření vnitřního odporu článku



Obr. 27. Měření impedance článku

Impedance se měří pomocí zapojení podle obr. 27. Impedanci měříme při zatížení běžným zatěžovacím proudem článku. K akumulátoru připojíme zdroj střídavého proudu o kmitočtu 1 kHz a střídavým voltmetrem zjistíme střídavou složku napětí. Stejnoseměrný proud odebíráme přes oddělovací tlumivku (aby se neuplatnila impedance zátěže R_z). Střídavý voltmetr M1 musí mít co největší vnitřní odpor, aby bylo měření co nejpresnější. Oddělovací kondenzátor musí mít pro měřicí kmitočet malou impedanci. Zpravidla vyhoví voltmetr s vnitřním odporem 5000 Ohm/V a kondenzátor o kapacitě alespoň 10 uF. Odpor stejnosměrného voltmetru musí být velký a je vhodné jej při vlastním měření impedance odpojit. Střídavé napětí na svorkách článku nesmí být při měření větší než 5 % stejnosměrného napětí článku. Impedanci článku Z pak vypočítáme pomocí rovnice

$$Z = \frac{U_1}{I} \quad [\Omega; V, A]$$

kde U_1 je údaj voltmetru M1,
 I údaj miliampérmetru M3.

Střídavé napětí na svorkách článku lze upravit velikostí střídavého proudu, propouštěného kondenzátorem C1.

24. Měření kapacity článku nebo akumulátoru

Kapacita (značí se nejčastěji C , K nebo Q) článků a akumulátorů se určuje v ampérhodinách. Při jejím měření se článek nebo akumulátor vybíjí proudem, přesně určeným zatěžovacím odporem. Současně se měří svorkové napětí. Zmenší-li se svorkové napětí pod mez určenou výrobcem nebo normou jako charakteristické napětí pro vybitý stav, zjistíme čas vybíjení t . Z údajů svorkového napětí během vybíjení lze určit průměrné svorkové napětí po celou dobu vybíjení. Výsledná kapacita článku je pak určena vztahem

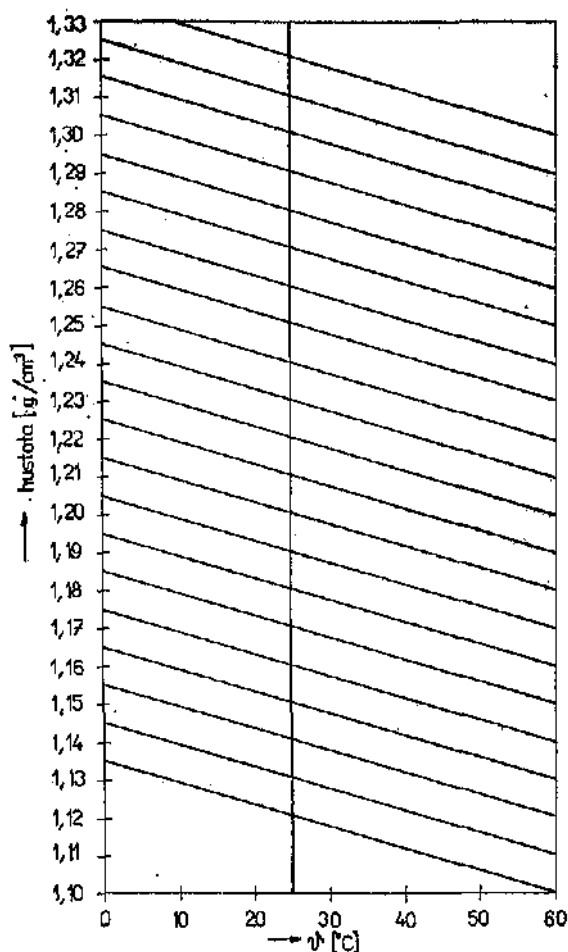
$$Q = \frac{U_p t}{R} \quad [Ah; V, h, \Omega]$$

kde U_p je průměrné svorkové napětí,
 t doba vybíjení,
 R zatěžovací odpor.

Kapacita akumulátoru je vlastně nejdůležitějším parametrem všech článků a akumulátorů. Pokud nedojde k mechanickému poškození akumulátoru, je doba života tohoto akumulátoru určena počtem nabí-

jecích a vybíjecích cyklů, po které se jmenovitá kapacita akumulátoru nezmenší pod určitou mez. Je ale zapotřebí si uvědomit, že parametry elektrochemických článků se značně odlišují nejrůznějšími vnějšími vlivy. Proto je údaj o kapacitě akumulátoru, který postrádá podrobnosti o tom, jak byl měřen, nedostačující.

Kapacita akumulátoru udávaná výrobcem je vždy minimální zaručená kapacita. Obecně závisí na stupni opotřebování, teplotě, hustotě elektrolytu u akumulátorů, způsobu vybíjení a nabíjení atd.

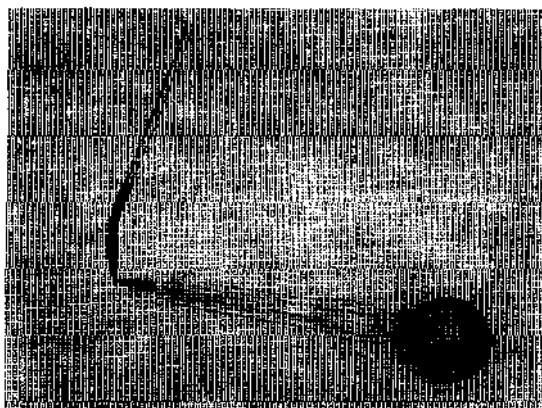


Obr. 28. Závislost vodného roztoku kyseliny sírové na teplotě

25. Měření hustoty elektrolytu

Hustota elektrolytu se označuje h a udává se s g/cm^3 . Hustota je značně závislá na teplotě, a proto je třeba při přesném zjišťování změřený údaj přepočítat na hustotu odpovídající teplotě 25°C (pro tuto teplotu bývá předepisována výrobcem akumulátorů). Pro snadnější přepočítávání hustoty je závislost obvykle vyjádřena tabulkami nebo grafy. Na obr. 28 je graf pro určení hustoty zředěné kyseliny sírové v rozmezí teplot 0 až 60°C .

Složení elektrolytů u všech používaných akumulátorů je předepsáno normou, současně s požadavky na čistotu jednotlivých složek.



Obr. 29. Násavkový hustoměr

U olověných akumulátorů se hustota během nabíjení a vybíjení mění a je ukazatelem stavu nabití.

Hustotu měříme obvykle v nádobě mimo akumulátor. Nejpoužívanějším měřidlem je tzv. násavkový hustoměr (obr. 29). Plovoucí část je cejchována přímo v jednotkách hustoty. Někdy bývá stupnice hustoměru rozdělena do několika barevně odlišených oblastí s pokyny pro údržbu: akumulátor „správně nabit“, „zpola nabit“, „ihned nabíjte“, „zřed'te kyselinu“. Pro potřeby automobilistů mají některé malé hustoměry pouze toto barevné označení a na trhu byl i malý násavkový hustoměr se dvěma malými barevnými kuličkami odlišné měrné hmotnosti, jejichž poloha v elektrolytu (zda jsou ponořeny nebo zda plovou na hladině) indikuje hustotu elektrolytu.

Předepsaná hustota pro startovací olověné akumulátory je $1,28 \text{ g/cm}^3$, pro dopravní olověné akumulátory $1,24 \text{ g/cm}^3$ a pro staniční baterie

s velkoplošnými deskami $1,18 \text{ g/cm}^3$. Pro mimořádné klimatické podmínky se obvykle předepisuje jiná hustota elektrolytu, než je běžně doporučovaná. Platí, že pro vyšší teploty má být hustota elektrolytu menší a pro nižší teploty (za mrazu) větší.

Upravujeme-li hustotu elektrolytu doléváním destilované vody, má její opětovné měření smysl až po dokonalém promísení vody s elektrolytem. K promísení dojde samovolně při běžné teplotě asi po 12 h. Promísení lze urychlit připojením akumulátoru k nabíječi. Při nabíjení se elektrolyt promísí již asi za 10 až 15 minut. U oloveného akumulátoru není vhodné urychlovat promísení elektrolytu mechanickými prostředky, neboť může snadno dojít k poškození desek.

U alkalických akumulátorů se hustota během vybíjení nemění. Proto nelze podle hustoty elektrolytu určit stupeň nabití akumulátoru. Nicméně i u těchto akumulátorů je zapotřebí hustotu elektrolytu kontrolovat a udržovat v mezích předepsaných výrobcem. Zmenší-li se hustota pod předepsanou mez (u běžných typů automobilových baterií pod $1,16 \text{ g/cm}^3$), je třeba neprodleně starý elektrolyt vylít a nahradit novým.

Na čistotě elektrolytu závisí do značné míry i doba života akumulátoru. Minimální čistota jednotlivých složek elektrolytu je předepsána normou ČSN 36 4350. Zvláště nebezpečné pro alkalický akumulátor je znečištění elektrolytu kyselinou. I velmi malé množství může akumulátor zničit. Proto se nedoporučuje společné nabíjení ani společná údržba olovených a alkalických akumulátorů.

26. Měření startovací schopnosti akumulátoru

Startovací schopnost olovených akumulátorů se zjišťuje podle ČSN 36 4310 tzv. kontrolou rychlým vybíjením. Akumulátor se uvede do plně nabitého stavu a po skončení nabíjení se upraví hustota a výška hladiny ve všech člancích akumulátoru. Teplota elektrolytu má být na počátku vybíjení 25°C . Pak se akumulátor nepřetržitě vybíjí konstantním proudem odpovídajícím trojnásobku jmenovité kapacity akumulátoru. Měří se doba, za níž se svorkové napětí akumulátoru zmenší na 4 V (pro šestivoltový akumulátor), popř. na 8 V (pro dvánáctivoltový akumulátor). Akumulátor vyhovuje normě, je-li tato doba delší než 6 minut.

Protože startovací schopnost oloveného akumulátoru, používaného v motorových vozidlech, je jeho nejdůležitější vlastností, používají se v praxi jednodušší metody měření startovací schopnosti. Běžné je např. zkoušení tzv. startovací zkušební vidlicí. Touto vidlicí je možno orien-

tačně zjistit startovací schopnost akumulátoru během několika sekund. Je to vlastně voltmetr (jehož stupnice má nulu uprostřed) a odpor, paralelně připojený k vývodům voltmetru. Velikost tohoto odporu je taková, aby po přiložení hrotů vidlice ke článku akumulátoru procházel proud asi 80 až 100 A. Voltmetrem přitom měříme napětí článku. Stupnice voltmetru je opatřena barevnými značkami, které určují mezní velikosti napětí pro různé typy článků. Vidlici je třeba při měření přitisknout co největším tlakem do olovených vývodů článku. Při měření kontrolujeme, zůstane-li ručka voltmetru v příslušném tolerančním poli alespoň 5 s. Pak je článek v pořádku.

27. Zkouška doby života

Tuto zkoušku dělá zpravidla pouze výrobce a uživatelé zajímají pouze její výsledky. Akumulátor se opakovaně nabíjí a vybíjí předepsaným proudem a pravidelně se kontroluje kapacita akumulátoru.

Pro olovené akumulátory platí podle ČSN tento postup: akumulátor se vybíjí po dobu jedné hodiny proudem, který je číselně roven 0,4 násobku kapacity akumulátoru při teplotě 25 °C. Nabíjí se proudem čtyřikrát menším (tj. proudem, který je číselně roven 1/10 kapacity akumulátoru) po dobu pěti hodin. Akumulátor se vybíjí a nabíjí samočinně speciálním zařízením, přičemž se teplota elektrolytu udržuje v mezích 40 ± 3 °C. Nejméně jednou denně se kontroluje výška hladiny elektrolytu a upravuje se v případě potřeby doléváním destilované vody. Zkouška doby života se považuje za skončenou, zmenší-li se kapacita akumulátoru ve dvou po sobě jdoucích cyklech (vybíjecích) na 40 % původní kapacity akumulátoru. Doba života se udává počtem vybíjecích a nabíjecích cyklů.

Pro zkoušku doby života alkalických niklokadmiových akumulátorů platí podobné zásady. Jsou určeny ČSN 36 4350.

Alkalické články a akumulátory se vybíjejí po dobu dvou hodin proudem, který se číselně rovná 3/10 jmenovité kapacity akumulátoru a nabíjejí se po dobu čtyř hodin proudem, který se číselně rovná 1/4 jmenovité kapacity akumulátorů. Teplota elektrolytu se udržuje v mezích 33 ± 3 °C a hustota elektrolytu musí být v mezích 1,16 až 1,23 g/cm³. Nejpozději po 100 cyklech se elektrolyt vyměňuje. Zkouška doby života se považuje za skončenou, zmenší-li se kapacita článku nebo akumulátoru na 70 % jmenovité kapacity akumulátoru.

28. Kontrola odolnosti proti přebíjení

Při této kontrole se akumulátor několikrát za sebou přebije a potom se zkouší jeho vlastnosti rychlým vybíjením. U olovených akumulátorů se přebíjí proudem, který se číselně rovná $1/10$ jmenovité kapacity akumulátoru po dobu 100 hodin, a čtyřikrát vybíjí proudem, který se číselně rovná trojnásobku jmenovité kapacity akumulátoru. Při čtvrté kontrolní zkoušce musí být vybíjecí doba nejméně 4 minuty. Vybíjecí dobou se rozumí doba stejná, jaká byla uvedena při měření startovací schopnosti akumulátoru.

IV. ÚDRŽBA AKUMULÁTORŮ A JEJICH DROBNÉ ÚPRAVY

29. Údržba olověných akumulátorů

Nový olověný akumulátor můžeme dostat v trojím odlišném provedení.

a) Akumulátor naplněný a nabitý

Takový akumulátor můžeme přímo zapojit do motorového vozidla a okamžitě jej používat, aniž bychom s ním cokoliv dělali. Postačí, provedeme-li jednoduchou kontrolu stupně nabití, stavu elektrolytu a v prvních hodinách provozu vozidla jej několikrát zkontrolujeme, zda-li se nepřehřívá, neplynuje-li nadměrně některý Článek, je-li pouzdro akumulátoru těsné, nevytéká-li elektrolyt a těsní-li zátky. Někteří výrobci doporučují asi po měsíci provozu akumulátor z vozidla vyjmout, vylít elektrolyt, propláchnout, nalít novou kyselinu a akumulátor znovu plně nabít. Je vhodné, když výplach akumulátoru provede odborná dílna.

b) Akumulátor suchý, nenabitý

Jelikož naplněný akumulátor trpí samovybíjením, špatně se dopravuje a ve skladech je s ním obtížná manipulace, výrobci dodávají akumulátory bez elektrolytu. K jejich naplnění před uváděním do provozu použijeme kyselinu sírovou o hustotě $1,26 \text{ g/cm}^3$ (někteří výrobci udávají hustotu počáteční náplně v průvodních listech k akumulátoru a ta se může od hustoty $1,26 \text{ g/cm}^3$ i mírně lišit). Teplota elektrolytu, tj. kyseliny se má pohybovat mezi 15 až 25°C . U startovacích akumulátorů má být hladina elektrolytu 5 mm nad horním okrajem desek. Výšku hladiny zjišťujeme ponořením tuhého papíru do plnicího otvoru nebo na obou koncích otevřené skleněné trubičky. Jestliže horní okraj trubičky po ponoření do Článku prstem uzavřeme, zůstane v trubičce sloupec elektrolytu odpovídající výšce elektrolytu nad deskami.

Správně naplněný akumulátor je třeba nechat 3 až 5 h v klidu. Kyselina má čas proniknout do všech pórů na povrchu desek. Je škodlivé tuto dobu zkracovat, protože pak se nabíjení zúčastní menší množství aktivní hmoty desek, ale i prodlužovat, pak může docházet již k sulfatizaci. Před nabíjením ještě máme zkontrolovat teplotu elektrolytu, ta se mohla mírně zvýšit. Měřit hustotu elektrolytu po naplnění akumulátoru je zbytečné, ta se v této fázi „formování“ akumulátoru mírně zmenšuje. Je však třeba ještě jednou zkontrolovat hladinu elektrolytu a popřípadě elektrolyt doplnit původním roztokem kyseliny. Výška elektrolytu nemá být vyšší než uvedených 5 mm nad okraj desek, neboť potom elektrolyt při nabíjení z akumulátoru stříká.

Výrobce předepisuje pro první nabíjení proud trochu větší než proud, který je číselně roven $\frac{V_0}{10}$ kapacity akumulátoru. První nabíjení má probíhat po dobu asi 50 h. Vždy však je třeba prvně akumulátor nabíjet až do znaků plného nabití. Hustota elektrolytu akumulátoru se musí zvětšit na $1,28 \text{ g/cm}^3$ a dále se nesmí zvětšovat. Napětí na jednom článku při připojení nabíječi a procházejícím nabíjecím proudem se po úplném nabití akumulátoru ustálí na napětí 2,7 až 2,8 V na článek a dále se již nezvyšuje. Ukončit první nabíjení dříve, tj. dát do provozu akumulátor jen z části nabitý, se nedoporučuje.

Během nabíjení je třeba zejména hlídat teplotu elektrolytu. Zvýší-li se teplota nad 40°C , je třeba buď zmenšit nabíjecí proud, nebo začít akumulátor chladit vodní nebo vzduchovou lázní. Přerušit nabíjení se má až v krajním případě, v prvních šestnácti nabíjecích hodinách se to považuje dokonce za škodlivé.

Po skončeném nabíjení musíme odpojit akumulátor od nabíječe, nechat jej asi $1/2$ hodiny odplynovat, pak teprve provést kontrolu, zátkovat a dát do běžného provozu. Nyní je akumulátor ve stavu, jako v bodě a), tj. naplněný a nabitý.

c) Akumulátor suchý a nabitý

Výrobci inzerují, že takovýto akumulátor je schopný okamžitého provozu ihned po nalití elektrolytu. Potřebný elektrolyt pod názvem „Akumulátorová kyselina“ se dostane koupit i s akumulátorem. Pražská akumulátorka Mladá Boleslav, n. p., označuje suché nabité akumulátory písmenem N a zeleným kroužkem.

Při uvádění takového akumulátoru do provozu odstraníme těsnící vložky, popřípadě odřízneme odplynovací výstupky na zátkách. Akumulátor je totiž skladován plynotěsně proto, aby do něho nemohla vniknout škodlivá vlhkost. Akumulátor naplníme roztokem kyseliny sírové o hustotě $1,28 \text{ g/cm}^3$ při teplotě 15 až 25°C . Zkontrolujeme

výšku elektrolytu, aby dosáhla správné výšky 5 mm nad horní okraj desek a necháme akumulátor asi 3 h v klidu, aby elektrolyt mohl na desky působit. Pokud akumulátor nutně nepotřebujeme ihned zařadit do provozu, je vhodné i u tohoto druhu provést první nabití. Nabíjení volíme podle doby, která uplynula od data výroby akumulátoru. U akumulátoru, který není starší 6 měsíců, nabíjíme proudem, který je číselně roven $1/10$ kapacity akumulátoru, po dobu 5 h. Akumulátor starší než 6 měsíců nabíjíme proudem, který je číselně roven $1/10$ kapacity akumulátoru až do znaků plného nabití. Při nabíjení kontrolujeme zejména teplotu elektrolytu, aby nepřesáhla $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Akumulátor necháváme po skončení nabíjení asi $1/2$ hodiny odplynovat.

Roztok kyseliny sírové s destilovanou vodou se připravuje v nekovových nádobách, nejlépe skleněných. Použijeme-li čistou kyselinu sírovou a ředíme-li ji destilovanou vodou, dbáme zásady, že naléváme kyselinu do vody za stálého míchání, nikdy naopak. Při nalévání vody do kyseliny vzniká velké množství tepla a kyselina „stříká“.

V tab. 9 je naznačeno, jak lze dosáhnout potřebného roztoku kyseliny sírové pro plnění olověných akumulátorů. Chceme-li se této práci vyhnout, lze v odborných prodejnách zakoupit pod názvem „akumulátorová kyselina“ roztok kyseliny v koncentraci vhodné pro akumulátory do motorových vozidel.

Druhé a další nabíjení akumulátoru je pak součástí běžné údržby olověného akumulátoru, kterou spojujeme obvykle s pravidelnou mechanickou a elektrickou prohlídkou automobilu. Jak již bylo uvedeno, olověný akumulátor nesmíme skladovat ve vybitém stavu, proto ho nabíjíme bezprostředně po vybití. Zejména tehdy, slouží-li akumulátor jako zdroj např. pro nouzové osvětlení, v akumulátorových vozících k pohonu motoru, nebo při náročném provozu v motorovém vozidle (při častých startech v městském provozu) atd. Akumulátor vždy nabíjíme do znaků plného nabití (dále se nezvětšující napětí asi $2,8\text{ V}$ na článek, nezvětšující se hustota elektrolytu, zvýšené plynování).

Při nabíjení je třeba dodat do akumulátoru asi 130% chybějící energie. Postup při zahájení je asi tento:

- a) vyšroubovat zátky, zkontrolovat hustotu a hladinu elektrolytu, popř. doplnit elektrolyt destilovanou vodou;
- b) připojit akumulátor ke zdroji nabíjecího proudu;
- c) nabíjet akumulátor předepsaným proudem.

Obvyklé je, že se většinou nabíjí tzv. normálním proudem, tj. proudem, který je číselně roven $1/10$ kapacity akumulátoru. V literatuře se tato zásada značí stručně symbolickým vztahem $I [\text{A}] = 0,1 Q_{\text{č}}$ kde $Q_{\text{č}}$ je kapacita akumulátoru vztahená na jednotku času. V novějších po-

Tabulka 9. Ředění roztoku kyseliny sírové destilovanou vodou na požadovanou hustotu

Hustota H_2SO_4 při teplotě 20 °C	A litrů H_2SO_4 teploty 20 °C a hustoty z prvního sloupce smíšeno s B litry destilované vody dává 100 litrů elektrolytu hustoty [g/cm ³]									
	1,18		1,20		1,24		1,26		1,285	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1,18	100	0								
1,19	94,5	5,7								
1,20	89,5	10,7	100	0						
1,21	84,9	15,3	95,0	5,1						
1,22	80,8	19,5	90,3	9,8						
1,23	77,0	23,3	85,1	14,1						
1,24	73,6	26,8	82,3	18,0	100	0				
1,25	70,4	30,1	78,7	21,7	95,7	4,4				
1,26	67,4	33,1	75,4	25,1	91,7	8,5	100	0		
1,27	64,7	35,9	72,4	28,1	88,0	12,3	96,0	4,1		
1,28	62,2	38,5	69,6	31,1	84,6	15,8	92,2	7,9		
1,29	59,0	40,9	66,9	35,7	81,4	19,1	88,8	11,5	98,1	1,9
1,30	57,7	43,1	64,5	38,3	78,4	22,1	85,5	14,8	94,6	5,6
1,31	55,8	45,2	62,3	38,6	75,6	25,0	82,5	17,9	91,2	9,0
1,32	53,7	47,2	60,1	40,8	73,2	27,7	79,7	20,9	88,1	12,3
1,33	51,9	49,0	58,1	42,9	70,6	30,2	77,0	23,6	85,1	15,3
1,34	50,3	50,7	56,2	44,8	68,3	32,5	74,5	26,2	82,4	18,1
1,35	48,7	52,4	54,4	46,6	66,2	34,7	72,2	28,6	79,8	20,8
1,36	47,2	53,9	52,8	48,3	64,2	36,8	70,0	30,8	77,4	23,3
1,37	45,8	55,3	51,2	49,9	62,3	38,8	68,0	33,0	75,1	25,7
1,38	44,5	56,7	49,8	51,4	60,5	40,6	66,8	35,0	72,9	27,9
1,39	43,3	58,8	48,4	52,9	58,8	42,4	64,1	36,9	70,9	30,0

kynech pro nabíjení se doporučuje také tzv. dvojstupňové nabíjení, tj. zpočátku se akumulátor nabíjí proudem poněkud větším, než je jmenovitý proud, asi 0,12 Qč. Tento první stupeň bývá ohraňován začátkem plynování, přesněji zvětšením svorkového napětí článku na 2,4 V. Při dalším nabíjení se má nabíjecí proud mírně zmenšit asi na 0,06 Qč. Tímto proudem se pak nabíjí akumulátor až do znaků úplného nabití. Při nabíjení nesmí teplota elektrolytu překročit v žádném případě 40 °C;

d) dosažením znaků plného nabití se pokládá akumulátor za nabitý. Odpojí se od nabíječe a nechá se v klidu půl hodiny odplynovat;

e) zašroubují se zátky (po předchozí kontrole jejich průchodnosti pro plyn), osuší se vývody a celý akumulátor a přípojný vývody se pokryjí tenkou vrstvou vazelíny.

30. Udržování nabíjení a samovolné vybíjení

I u dobrého akumulátoru dochází vždy k samovolnému vybíjení. Samovolným (vnitřním, vlastním) vybíjením ztrácí dobrý akumulátor celý náboj asi za tři měsíce; je-li jeho elektrolyt znečištěn, samovybíjecí pochod se zrychluje. Byl-li akumulátor uveden do provozu a potřebujeme-li ho po delší dobu skladovat, je ho třeba trvale dobíjet nabíjecím proudem asi 0,0006 až 0,001 Qč [A]. Při tomto ošetření je akumulátor stále připraven k použití a je současně odolný i proti mrazu. Skladujeme-li akumulátor déle než šest měsíců, je třeba akumulátor každých šest měsíců vybit a nabít běžným nabíjecím a vybíjecím proudem. Pokud jsme však z nějakých důvodů odstavili svoje motorové vozidlo na delší dobu, doporučuje se akumulátor z vozidla vyjmout a jednou za dva měsíce ho zcela vybit a nabít běžnou metodou.

31. Sulfatace

Jak již bylo uvedeno, je sulfatace tvoření síranu olovnatého, který zhoršuje vlastnosti akumulátoru. Sulfatace je částečně vratný jev, který vzniká při vybíjení nebo trvalém vybití a částečně mizí při nabíjení. Všechny síran olovnatý však nabíjením nezmizí. Jemné krystaly se přetvářejí na větší a ty velmi zhoršují vlastnosti akumulátoru. K maximální sulfataci desek dochází při nedobíjení nebo necháme-li akumulátor delší dobu ve vybitém stavu, dále tehdy, je-li hladina elektrolytu nižší, než je předepsáno, popř. i tehdy, zmenší-li se svorkové napětí akumulátoru při tzv. hlubokém vybíjení pod dovolenou mez, tj. pod 4 V u akumulátoru 6 V a pod 8 V u akumulátoru 12 V. Tvoření síranu olovnatého se podporuje vybíjením akumulátoru velkými proudy (i nabíjením velkými proudy), větší hustotou elektrolytu a jeho znečištěním (zvětšuje se samovolné vybíjení).

Hlavními příznaky zvětšené sulfatace jsou: zmenšení kapacity akumulátoru, plynování článků brzy po zahájení nabíjení, zvětšené svorkové napětí a zvětšená teplota při nabíjení.

Nepřekročí-li sulfatace určitou mez, lze ji odstranit několika způsoby:

Opakovaným nabíjením malým proudem (asi 0,05 až 0,025 Qč [A]). Nabíjet se musí bez ohledu na dobu nabíjení až do znaků úplného nabíjení;

Dobíjením s přestávkami (používá se především u tzv. staničních akumulátorů a baterií). Po nabití akumulátoru se přeruší nabíjení na jednu hodinu. Akumulátor se pak dále nabíjí, dokud nedojde k bouřlivému vývinu plynů na deskách. Následuje opět hodinová přestávka v nabíjení a akumulátor se znovu nabíjí. Pokračuje se tak dlouho, dokud se plyn na deskách nevyvíjí ihned po připojení akumulátoru k nabíječi;

U značně zanedbaných akumulátorů je třeba starý elektrolyt vylít a nahradit ho destilovanou vodou. Akumulátor pak nabíjíme proudem o velikosti 0,02 Qč až do značného vývinu plynů; to může trvat až několik dnů. Zvětší-li se současně napětí článku asi na 2,5 V, lze vodu vylít a okamžitě naplnit akumulátor čerstvým elektrolytem o hustotě 1,28 g/cm³. Pak se akumulátor nabíjí běžným způsobem až do znaků úplného nabití.

Síran olovnatý (sulfát) lze odstranit i chemickými přípravky, z nichž některé jsou i na našem maloobchodním trhu. Tyto prostředky mají jednu společnou nevýhodu — při jejich používání je třeba články proplachovat několikrát za sebou destilovanou vodou, přičemž může snadno dojít k jejich mechanickému poškození. Pevné Částičky kalu, usazené na dně akumulátoru, zůstanou totiž mnohdy „viset“ v separátorech a způsobují buď zvětšení samovolného vybíjení, nebo i zkratky mezi zápornými a kladnými deskami.

Na závěr je třeba podotknout, že vlastní dobu života akumulátoru nelze desulfizací akumulátoru, který je již na samé hranici doby života, podstatně prodloužit.

32. Další závady olovených akumulátorů

Mezi závady olovených akumulátorů patří i zkratky mezi deskami. Jejich příčinou může být (kromě popsaných závad při desulfataci) deformace desek velkými nabíjecími a vybíjecími proudy. Je-li vadná jen malá část akumulátoru, popř. jen jeden článek, lze akumulátor opravit výměnou vadného článku za nový. Amatérské opravy se v tomto případě nedoporučují.

Vytéká-li elektrolyt trhlinkami v zalévací hmotě, je třeba zalévací hmotu odstranit a nahradit ji novou. Oprava pouhým rozehríváním staré zalévací hmoty nemá cenu. Poškodí-li se celý pryžový blok akumulátoru, je třeba přemístit jednotlivé články do bloku nového.

Častou mechanickou závadou jsou utržené nebo jinak poškozené vývody článků a akumulátoru. Jde-li o malé poškození, lze nové vý-

vody vylít do provizorní formy (přímo na Článek nebo akumulátoru) tekutým olovem. Ovšem vždy se vyplatí (především při větším poškození) svěřit opravu odborné dílně.

33. Alkalický akumulátor

Alkalické akumulátory nevyžadují takovou péči jako akumulátory olovené. Nevadí jim, jsou-li dlouhodobě ve vybitém stavu a nedochází u nich k jevu podobnému sulfataci. Jejich samovolné vybíjení je asi dvakrát pomalejší než u olovených akumulátorů. Alkalický akumulátor se vybije samovolně asi za 1/2 roku. Průběh vnitřního vybíjení je nelineární. Nejrychleji ztrácí náboj plně nabitý akumulátor, který asi po 1 až 2 měsících ztrácí až 80 % náboje.

Tabulka 10. Příprava vodného roztoku hydroxidu draselného nebo sodného pro elektrolyt alkalických akumulátorů

Roztok hustoty g/cm ³	Odpovídá hustotě °Bé	Hydroxid draselný			Hydroxid sodný		
		obsahuje g/l	%	odpor <i>Ohm</i>	obsahuje g/l	%	odpor <i>Ohm</i>
1,150	19	203	17	2,25	155	13	2,89
1,20	24	209	22	1,95	213	18	2,94
1,260	29	338	27	1,84	281	22	3,35
1,30	33	398	31	1,86	344	26	4,15
1,350	38	487	36	1,98	419	31	5,42
1,40	41	543	39	2,21	532	38	7,09
1,450	45	631	43	2,51	610	42	8,95

Elektrolytem u alkalických akumulátorů je vodný roztok alkalického louhu, tj. hydroxidu sodného nebo draselného, k němuž se přidává někdy hydroxid lithný. Optimální složení elektrolytu pro různé podmínky je v tab. 10. Roztok se připravuje rozpouštěním tuhého hydroxidu v destilované vodě. Hydroxid se prodává ve formě tyček nebo čoček, v hygroskopicky uzavřených plechovkách. Jeho roztok je proti pokožce silně agresivní, rychle ji leptá. Při potřísnění pokožky roztokem louhu je okamžitě třeba místo potřísnění opláchnout vodou a zbytky louhu neutralizovat např. octem nebo 2% roztokem kyseliny borité. Proto se doporučuje při manipulaci s louhem používat zásadně pryžové rukavice. Při rozpouštění hydroxidu v destilované vodě vzniká

značné množství tepla a plynů. Na teplo je třeba dbát především při používání skleněných nádob.

Elektrolyt se vyměňuje, zmenší-li se jeho hustota pod výrobcem předepsanou mez. Jinak se má elektrolyt vyměňovat vždy jednou za rok nebo po 100 nabíjecích cyklech. Při výměně elektrolytu se postupuje takto:

- a) akumulátor se vybije běžným vybíjecím proudem do napětí 1 V na článek. Je-li kapacita jednotlivých článků různá, je třeba akumulátor rozpojit na jednotlivé články a ty pak vybíjet každý zvlášť;
- b) články akumulátoru se rozpojí, každý článek se důkladně „protřepe“ a elektrolyt se vylije;
- c) každý článek se ihned třikrát až pětkrát vypláchne destilovanou vodou nebo starým elektrolytem, zbaveným nečistot přelitím přes filtrační papír;
- d) ihned po vypláchnutí se do článků nalije nový elektrolyt. V žádném případě nemají články zůstat po delší dobu suché;
- e) po nalití elektrolytu necháme články nejprve asi dvě hodiny v klidu. Články spojíme do původní sestavy a kontrolujeme správnou hladinu elektrolytu;
- f) akumulátor nabíjíme běžným nabíjecím proudem; nabíjíme tak, abychom dodali náboj velikosti asi 300% jmenovité kapacity (akumulátor tedy nabíjíme, i když vykazuje znaky plného nabití);
- g) po odpojení nabíječe necháme akumulátor ještě asi čtyři až pět hodin odplynovat. Zkontrolujeme hladinu elektrolytu a články uzavřeme zátkami. U starších článků je obvykle třeba vyměnit pryžové těsnění zátek.

Alkalické akumulátory se dodávají převážně formované, s elektrolytem a s nábojem zmenšeným o samovolné vybíjení.

Při běžném nabíjení vybitých alkalických akumulátorů dodáváme asi 150% odebrané kapacity v ampérhodinách. Při nabíjení zejména dbáme několika zásad:

- a) akumulátor očistíme od prachu, solí a jiných nečistot utáhneme spojky mezi články;
- b) odšroubujeme zátky a zkontrolujeme výšku a stav elektrolytu;
- c) akumulátor připojíme k nabíječi a nabíjíme doporučeným proudem. Obvykle 0,25 nebo 0,2 QČ [A]. Nabíjíme až do konečných znaků nabití. Během nabíjení dbáme, aby teplota elektrolytu nebyla vyšší než 40 °C. Blíží-li se teplota elektrolytu této hranici, akumulátor chladíme a nestací-li chlazení, nabíjení přerušujeme, popřípadě zmenšujeme nabíjecí proud;

d) po skončeném nabíjení necháme akumulátor čtyři až pět hodin odplynovat, zkontrolujeme stav elektrolytu, zašroubujeme zátky a akumulátor je připraven k použití.

Alkalické akumulátory lze nabíjet i urychleně a tzv. „zesíleným“ nabíjením. Urychlené nabíjení má dva stupně, nejdříve se akumulátor nabíjí proudem asi $0,4 \text{ Qč [A]}$ po dobu asi 2,5 h a pak se dobíjí zmenšením proudem po dobu 2 h (asi $0,1 \text{ Qč [A]}$). Urychlené nabíjení zkracuje dobu života akumulátoru a doporučuje se pouze výjimečně.

„Zesílené“ nabíjení je nabíjení běžným proudem $0,1 \text{ Qč [A]}$ na 200% jmenovité kapacity akumulátoru. Tím vlastně akumulátor krátce přebíjíme. „Zesílené“ nabíjení se doporučuje po každých deseti nabíjecích a vybíjecích cyklech a při uvádění nového akumulátoru do provozu.

U akumulátorů, které byly delší doby vybity k nule, se doporučuje prodloužené nabíjení běžným proudem $0,1 \text{ Qč [A]}$ na 300% jmenovité kapacity akumulátoru.

Nejčastější závadou alkalického akumulátoru je ztráta kapacity akumulátoru nahromaděním uhličitanu draselného nebo sodného v elektrolytu. Výměnou elektrolytu a novým nabitím se kapacita akumulátoru většinou obnoví.

Při vybíjení akumulátoru pod dovolenou mez až k nule se mnohdy články akumulátoru, který měl menší kapacitu než ostatní články, nabíje na opačnou polaritu (přepóluje). Článek je pak třeba nejprve nabít správným proudem na správnou polaritu a teprve potom nabíjet celý akumulátor.

Z mechanických vad alkalických akumulátorů jsou nejčastější deformace stěn nádoby, kdy se celá stěna vyduje a dochází ke zkratům mezi deskami. Příčinou může být vadná zátka nebo záklopka, uzavřený akumulátor při nabíjení, nebo jeho předčasné uzavření ihned po konci nabíjení.

34. Stříbrozinkový akumulátor

a) Uvedení do činnosti (formování)

Z článkových zátek je zapotřebí odstranit lepicí pásky a na víčku v označeném místě propíchnout otvor nebo odstranit šroub. Plnicím otvorem se naplní články elektrolytem do poloviny výšky desek. Po osmi až dvanácti hodinách se doplní elektrolyt opět do poloviny výšky desek. Za dvacet čtyři hodiny po prvním naplnění se doplní články elektrolytem tak, aby jeho hladina byla mezi horní a dolní vyznačenou ryskou. Po celých dvacet čtyři hodin je článek v klidu a v normální pracovní poloze.

Takto naplněný článek je možné začít formovat nabíjením. Formování se děje ve dvou cyklech.

V prvním cyklu se nabíjí baterie proudem $I = 0,05 \text{ Qč [A]}$ po dobu dvacet pět hodin. Přitom je třeba zajistit, aby napětí na žádném článku nebylo vyšší než 2,1 V. Pokud tohoto napětí některý z článků dosáhne před dvacátou pátou hodinou nabíjení, je třeba článek od nabíjení odpojit a ponechat jej v klidu. Po dvaceti pěti hodinách, nabíjení nebo po dosažení napětí 2,1 V na článku se ponechají články deset hodin bez nabíjení v klidu a potom se nabíjejí opět stejným proudem po dobu pět hodin. Opět nesmí napětí článků přesáhnout 2,1 V. Teplota musí být během nabíjení v mezích +15 až + 40 °C. Do jedné hodiny po ukončení nabíjení se vybíjí články proudem $I = 0,2 \text{ Qč [A]}$ do konečného napětí 1,00 V na článku.

Ve druhém cyklu, který následuje do dvaceti čtyř hodin po ukončení prvního cyklu, se opět nabíjejí články proudem $0,05 \text{ Qč [A]}$ po dvacet pět hodin. Opět se provádí kontrola, zda napětí na článku nedosáhlo 2,1 V. Kontroluje se po uplynutí desáté hodiny nabíjení, potom po uplynutí dvacáté hodiny a každé další celé hodiny. Následuje vybíjení stejné jako během prvního cyklu. Po druhém vybití se články nabíjejí normálním nabíjecím proudem $I = 0,06 \text{ Qč [A]}$ do napětí 2,1 V na článek. Toto nabíjení nesmí být delší než dvacet hodin. Potom je možné články normálně používat. Napětí na Článcích je 1,82 až 1,86 V během tří hodin po odpojení nabíječe. Během formování se sleduje a doplňuje hladina elektrolytu tak, aby při vybití dosahovala mezi rysky. Po zformování se plnicí otvor zašroubuje nebo zalije polystyrénovým lepidlem.

b) Nabíjení

Nabíjení se provádí po částečném nebo úplném vybití jmenovité kapacity nábojem o velikosti 105 % odebrané kapacity. Normální nabíjecí proud je $0,06 \text{ Qč [A]}$ do napětí 2,1 V na článek. Při nabíjení se elektrolyt vsakuje do desek, takže po nabití není jeho hladina téměř patrná. Hladina elektrolytu se doplňuje po vybíjení na správnou výšku při dalším provozu destilovanou vodou. U akumulátorů nepravidelně vybíjených se provádí tzv. vyrovnávací cyklus. Akumulátor se vybije proudem $I = 0,2 \text{ Qč [A]}$ do napětí 1 V na článek a pak se nabíjí asi po dobu sedmnáct a půl hodiny normálním nabíjecím proudem (0,06 Qč). Při každém nabíjení je třeba hlídat napětí článků. Nikdy nesmí jeho velikost přesáhnout 2,1 V. Elektrolytem je vodný roztok chemicky Čistého hydroxidu draselného o hustotě 1,4 až 1,42 g/cm³ (měřeno při teplotě 20 °C).

V. VŠEOBECNÉ ZÁSADY PŘI NABÍJENÍ AKUMULÁTORŮ

Postup při nabíjení akumulátorů byl popsán v kapitole o údržbě akumulátorů. Zde uvedeme zásady, které jsou platné pro všechny druhy a typy akumulátorů a z nichž se pak vychází při návrhu jednotlivých konkrétních nabíječů.

Charakteristikou nabíječe rozumíme závislost mezi výstupním napětím a nabíjecím proudem. Tomuto vztahu také říkáme voltampérová charakteristika nabíječe. V předpisech pro nabíjení akumulátorů a v odborných elektrochemických publikacích se často používají zkratky, označující typ nabíjecí charakteristiky nabíječe. Tyto zkratky nejsou u nás dosud normalizovány, ale vžil se označení podle norem VDE.

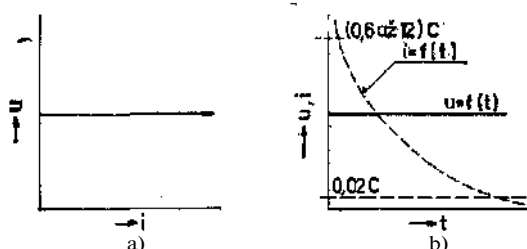
Nabíječ pracující jako zdroj konstantního napětí se označuje U, nabíječ, který pracuje jako zdroj konstantního proudu (tzn. se stálým nabíjecím proudem) se označuje jako nabíječ I, nabíječ se zmenšujícím se výstupním proudem (tento jev je charakteristický pro nabíječe s odporovým omezením proudu) se označuje W, samočinné vypínání (časové nebo spínacími hodinami, popř. odvozené od svorkového napětí akumulátoru) se označuje zkratkou a, samočinné přepínání nabíječe na jinou charakteristiku se označuje o.

Pořadí zkratk pak udává časový průběh nabíjení; např. zkratky $I_0 W_a$ znamená, že nabíječ zpočátku pracuje s konstantním proudem a pak se automaticky přepne na klesající charakteristiku a na konci nabíjení se nabíječ samočinně vypne.

35. Nabíjení podle charakteristiky U

Po připojení vybitého akumulátoru ke zdroji začíná nabíjení velkým počátečním proudem. Veliký počáteční proud způsobuje rychlé ohřátí elektrolytu. Na obr. 30a je charakteristika konstantního napětí na obr. 30b je závislost nabíjecího proudu $i = f(t)$ a napětí $u = f(t)$ na čase. Velikost konstantního napětí má být nastavena na plynovací

napětí akumulátoru s poměrně velkou přesností - alespoň 1 %. Tento způsob umožňuje nabíjet více baterií o stejném svorkovém napětí paralelně. Nabíječe s charakteristikou U se používají:



Obr. 30. a) charakteristika nabíječe s konstantním výstupním napětím (U); b) závislost nabíjecího proudu a nabíjecího napětí téhož nabíječe na čase (pro olověný akumulátor)

a) pro nabíjení olověných dopravních a startovacích akumulátorů

volíme konstantní nabíjecí napětí $U = 2,4$ až $2,45$ V na článek, podle druhu akumulátoru. Akumulátory s tenčími elektrodami vyžadují nižší nabíjecí napětí;

počáteční nabíjecí proud se doporučuje částečně omezit asi na $0,6$ až $1,2$ Qč [A] podle druhu akumulátoru;

konečný nabíjecí proud je menší než $0,002$ Qč [A];

doba potřebná k plnému nabití je deset až patnáct hodin a je závislá na počátečním proudu a druhu akumulátoru;

umožňuje také rychlé dílčí nabíjení bez nebezpečí poškození akumulátoru do 80 % konečné kapacity akumulátoru za jednu až jeden a půl hodiny;

vzhledem k malému konečnému dobíjecímu proudu je možné dlouhodobé přebíjení až asi do čtyřiceti osmi hodin;

- zejména u starých akumulátorů silně sulfatizovaných je třeba hlídat po celou dobu nabíjení teplotu elektrolytu, aby nepřestoupila 40 °C.

b) pro nabíjení niklokadmiových akumulátorů

volíme konstantní nabíjecí napětí $U = 1,65$ až $1,72$ V na článek, podle druhu baterie;

počáteční nabíjecí proud je $0,4$ až $0,6$ Qč [A];

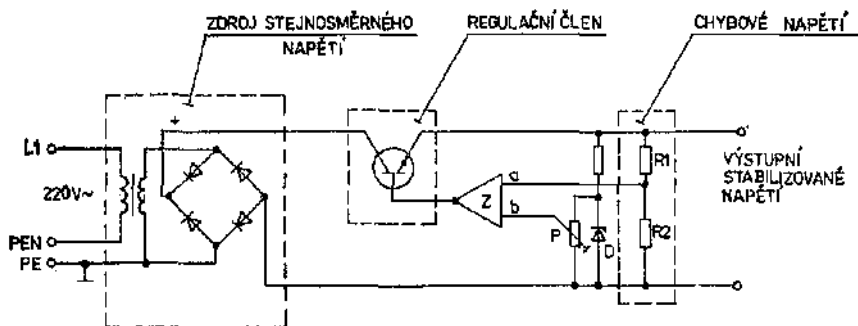
konečný nabíjecí proud je $0,07$ Qč [A];

doba plného nabití je deset až dvanáct hodin;

c) stříbrozinkové akumulátory

pro tyto akumulátory je nabíjení konstantním napětím vhodné proto, že zaručuje hlavní podmínku, tj. že napětí na článek nepřekročí $2,1$ V.

Ideální charakteristiky U se dosahuje nejlépe elektronicky. Princip je patrný z blokového schématu na obr. 31. Transformátor a usměrňovací diody dávají potřebné stejnosměrné napětí. Regulační člen mění svůj odpor tak, aby výstupní napětí bylo stále konstantní. Odebírá-li se malý výstupní proud, je regulační člen přivřený, výstupní napětí je tedy omezoováno. Stoupne-li odběr, regulační člen se otevře tak, aby se výstupní napětí udržovalo stále konstantní. Tato regulace se děje automaticky v uzavřené regulační smyčce. Na vstupech zesilovače Z se porovnává tzv. chybové napětí, vzniklé podělením výstupního napětí celého stabilizátoru v děliči tvořeném odpory $R1$ a $R2$ s konstantním napětím ze Zenerovy diody D . Zvýší-li se chybové napětí na vstupu a zesilovače proti konstantnímu napětí na vstupu b , zesilovač tuto odchylku zesílí a regulační člen se přivře, tj. zvětší svůj odpor. To má za následek, že výstupní napětí poklesne zpět na původní velikost. Velikost výstupního konstantního napětí se nastavuje potenco-

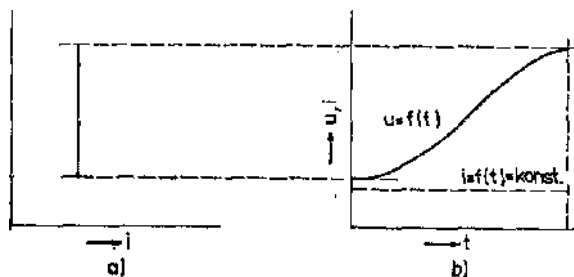


Obr. 31. Princip zdroje konstantního napětí

metrem P . Tuto základní myšlenku lze vysledovat téměř u všech elektronických stabilizátorů napětí. Odchylky jsou ve způsobu provedení, regulačním členem nemusí být jenom výkonový tranzistor, ale i např. poměrně hůře říditelný tyristor. K zesílení ve zpětnovazební smyčce se používají různé typy zesilovačů s různým zesílením, které určují vlastnosti stabilizátoru. Stabilizátor napětí se obecně vyznačuje relativně velmi malým výstupním odporem, který je úměrný velikosti zesílení ve zpětnovazební smyčce.

36. Nabíjení podle charakteristiky I

Charakteristika nabíječe s konstantním nabíjecím proudem je na obr. 32. Nabíječů s charakteristikou I se používá:



Obr. 32. a) charakteristika nabíječe s konstantním proudem (I); b) závislost nabíjecího proudu a nabíjecího napětí s charakteristikou (I_a), tj. nabíjení konstantním proudem s automatickým vypínáním

při nabíjení malých olověných akumulátorů, nabíjení akumulátorů při definovaných zkouškách, uvádění do činnosti startovacích olověných akumulátorů, nabíjení akumulátorů z centrálního rozvodu stejnosměrného proudu. Při nabíjení konstantním proudem $I = 0,08 \text{ Qč [A]}$ je doba nabíjení olověného akumulátoru asi 11 až 13 hodin;

při nabíjení niklokadmiových akumulátorů je nabíjecí proud omezen teplotou elektrolytu. V praxi volíme proud asi $I = 0,3 \text{ Qč [A]}$. Doba nabíjení niklokadmiového akumulátoru z 80 % vybitého je v tomto případě asi čtyři hodiny;

jsou vhodné pro nabíjení a uvádění do činnosti stříbrozinkových akumulátorů, podmínkou je buď ruční, nebo automatická kontrola ke konci nabíjení.

Výhody nabíječů s charakteristikou I;

zkratuvzdornost;

jednoduché zjištění energie dodané do akumulátoru, neboť stačí vynásobit nastavený výstupní proud dobou nabíjení;

při nabíjení článků nebo akumulátorů v sérii není třeba nastavovat nabíjecí proud, a to ani tehdy, připojí-li se nebo odpojí-li se další akumulátory;

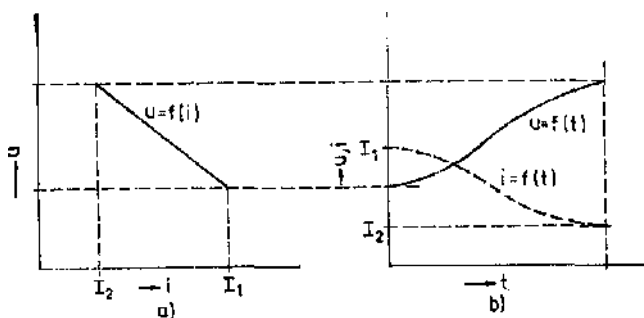
- k ovládní nabíječe lze používat časové spínače, přičemž již na začátku nabíjení určíme energii, kterou během nabíjení do baterie dodáme;
- není třeba používat ampérmetr ani jiný indikátor nabíjecího proudu, je-li regulátor nebo přepínač proudu nabíječe ocejchován v hodnotách výstupního proudu nabíječe;
- doporučené nabíjecí proudy většiny akumulátorů jsou udávány pro konstantní nabíjecí proud.

Nevýhodou je především u některých druhů olovených akumulátorů nutnost nastavovat během nabíjení dva stupně proudu. Jeden na začátku, druhý ke konci nabíjení (bývá označováno jako dvojstupňové nabíjení).

Popřípadě je možné dobíjet po celou dobu menším proudem, ale tím se podstatně prodlužuje nabíjecí doba. Elektronicky lze ideální proudovou charakteristiku snadno realizovat. Princip i konkrétní provedení je popsáno v kapitole 61. Tranzistorový nabíječ s charakteristikou I. Také u některých neelektronických nabíječů, např. s kondenzátorovým omezením proudu, lze dosáhnout poměrně dobré charakteristiky I.

37. Nabíjení podle charakteristiky W

Typická charakteristika W je na obr. 33. Vyznačuje se tím, že se zvětšujícím se svorkovým napětím na akumulátoru během nabíjení se úměrně zmenšuje nabíjecí proud. Této charakteristice se dosahuje



Obr. 33. a) charakteristika nabíječe a klesajícím nabíjecím proudem {W}; b) závislost nabíjecího napětí a proudu na čase $U = f(t)$, $i = f(t)$, kde I_1 je počáteční proud, I_2 je konečný nabíjecí proud

u většiny nabíječů tím, že do sekundárního nebo primárního obvodu transformátoru zařazujeme omezující impedanci. Nabíječe s charakteristikou W jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Pro různé druhy akumulátorů je však pro optimální nabíjení nutný různý sklon charakteristiky, W , takže se takovéto nabíječe jen velmi obtížně konstruují jako univerzální. Chceme-li, aby nabíječ vyhovoval k nabíjení několika druhů akumulátorů, musíme při jeho konstrukci pamatovat na přepínání odboček transformátorů a sériové impedance. Používání nabíječe s charakteristikou W vyžaduje větší dohled během nabíjecího cyklu. Je zpravidla nutné, aby nabíječ byl vybaven kontrolním ampérmetrem. Obtížně se stanovuje energie, která se během nabíjení do akumulátoru dodala a zpravidla nelze dobře na začátku nabíjení určit dobu nabíjení tak, jak tomu bylo u nabíječů s charakteristikou I . Další nevýhodou je zvětšení nabíjecího proudu, má-li některý nabíjený článek nebo akumulátor zapojený v sérii zkrat. Kontrola teploty, napětí akumulátorů a proudu během nabíjení je při použití nabíječů s charakteristikou W nezbytná.

Většinu nabíječů lze doplnit automatickými časovými spínači, jimiž lze volit konec nabíjení nebo přepnutí na jinou charakteristiku, tzv. dvojstupňové nebo i víceetapňové nabíjení.

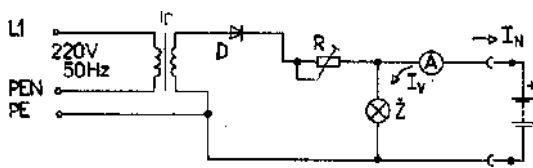
38. Dobíjení článků nesymetrickým střídavým proudem se zpětným vybíjením

Pokud nabíjíme akumulátor proudem, který má takový charakter, že po každém časovém intervalu nabíjecího proudu následuje časový interval, při němž se akumulátor částečně vybíjí (uvádí se jako nejvhodnější poměr proudu nabíjecího k vybíjecímu $1/10$), získáme určité přednosti proti normálnímu nabíjení stejnosměrným proudem. Vybíjecí proud má depolarizační účinky [30] na elektrodách a zvětšuje tak účinnost nabíjení. Těto metody lze využít u většiny typů článků a je vhodná i pro některé galvanické technologie. V lit. [30] se uvádí, že olověný automobilový akumulátor vykazoval po několika nabíjecích cyklech kapacitu 80% jmenovité kapacity akumulátoru v porovnání s 40% kapacity (měřeno hustoměrem) před započítáním prvního nabíjecího cyklu. Nabíjelo se tímto způsobem: při prvním nabíjení se použil nabíjecí proud 3 A, potom se akumulátor vybil a nabíjel se proudem 5 A. Následovalo opětovné vybití a nabíjení proudem 8 A. Při všech nabíjeních byla paralelně k akumulátoru připojena žárovka 6 V/5 W. Zapojení nabíječe je na obr. 34, Akumulátor potom ještě

rok sloužil svému účelu ve voze, ve kterém nebyl dříve schopen spolehlivě nastartovat motor.

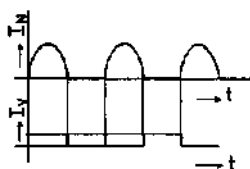
Tímto způsobem je možno někdy „oživit“ baterii, která nemá vyčerpány nebo znehodnoceny aktivní hmoty na deskách.

K nabíjení tímto způsobem lze použít většiny zde popisovaných nabíječů, které nabíjejí akumulátor nefiltrovaným, nejlépe jednocestně usměrněným proudem. K výstupu nabíječe se paralelně připojí odpor



a)

Obr. 34. a) schematické doplnění nabíječe pro nabíjení nesymetrickým střídavým proudem se zpětným vybíjením; b) průběhy proudu, kde I_N je nabíjecí proud, I_V vybíjecí proud (zpětný), ideální poměry jsou $I_V / I_N = 1/10$



b)

nebo žárovka tak, aby měřicí přístroj měřil pouze střední hodnotu proudu, který prochází do akumulátoru. Protože jde o střídavé veličiny, je nejlépe skutečné poměry měřit osciloskopem. Obzvláště u nabíječů s tyristory jsou poměry na akumulátoru v průběhu nabíjení odlišné. Akumulátor nesmíme nechat po nabití připojen paralelně k nabíječi, neboť by se přes odpor (nebo žárovku) brzy vybil. Tato připomínka platí zejména pro nabíječe s automatickým odpojováním apod.

VI. KONSTRUKČNÍ ČÁSTI NABÍJEČŮ

39. Transformátor

Základní součástí většiny nabíječů je transformátor, který plní několik funkcí. Kromě úpravy síťového napětí na napětí potřebné k usměrnění má za úkol také chránit obsluhu nabíječe před úrazem elektrickým proudem, neboť odděluje galvanicky místa možného dotyku od síťového napětí. Protože nabíječe bývají obvykle v prostředí se zvětšenou chemickou agresivitou a vlhkostí, a navíc i bez trvalého dohledu, je zhotovení transformátoru třeba věnovat zvýšenou pozornost.

Se zřetelem na bezpečnost obsluhy nemívají transformátory používané v nabíječkách sekundární napětí obvykle vyšší než 60 V. Proudů odebírané ze sekundárního vinutí jsou v rozmezí desítek miliampérů až desítek ampérů. Pro běžné nabíječe vystačíme s maximálním sekundárním proudem 10 A.

Návrh transformátoru

O přesném návrhu transformátorů pojednává mnoho publikací, např. [2], [4]. Zde se zaměříme na jednoduchý výpočet a na typy transformátorů, které se v amatérsky zhotovených nabíječkách používají nejčastěji. Ke zhotovování transformátorů se dnes nejčastěji používají plechy tvaru EI, proto se zaměříme pouze na tento typ plechů.

Při návrhu vycházíme z maximálního výkonu na jeho sekundární straně, tj. ze součinu efektivní hodnoty požadovaného napětí a z odebíraného proudu. Z tab. 11 zjistíme vhodnou velikost jádra pro transformátor. Dále určíme počet závitů na jeden volt a spočítáme počet závitů primárního a sekundárního vinutí. Se zřetelem na účinnost transformátoru odečteme od počtu primárních závitů asi 3 % závitů a na sekundární straně asi 5 % závitů přidáme. Počet závitů primárního vinutí vypočítáme pomocí vztahu

$$N_1 = 0,97 U_p N$$

Tabulka 11. Údaje k výpočtu transformátoru

Požadovaný výkon W	Typ plechů	Výška svazku mm	Počet závitů na jeden volt (plechy tloušťky 0,5 mm) [N]	Plocha pro vinutí cm ²
8	EI20	16	14,8	2,34
10	EI20	20	11,85	2,34
20	EI25	20	9,58	3,63
40	EI25	25	7,66	3,63
60	EI32	25	5,92	6,25
100	EI32	32	4,64	6,25
160	EI40	32	3,69	9,55
200	EI40	40	2,96	9,55
350	EI50	40	2,37	15,4
600	EI50	50	1,89	15,4

a počet závitů sekundárního vinutí vypočítáme pomocí vztahu

$$N_2 = 1,05 U_s N$$

kde N_1 je počet závitů primárního vinutí,

N_2 počet závitů sekundárního vinutí,

N počet závitů na jeden volt (určíme v tab. 11),

U_p napětí sítě [V],

U_s napětí sekundárního vinutí [V].

Pokud je na sekundární straně transformátoru několik vinutí, platí uvedené zásady pro všechna tato vinutí. Maximální výkon transformátoru je dán součtem výkonů jednotlivých vinutí. Vzhledem k tomu, že potřebujeme více místa pro vývody z jednotlivých vinutí (nebo odboček), se často stane, že nevystačíme s plochou pro vinutí transformátoru, který pro potřebný výkon určuje tab. 11. Proto v tomto případě doporučujeme použít jádro pro výkon o stupeň větší.

Zjištěný požadovaný výkon dělíme účinností transformátoru, která bývá v rozmezí 80 až 90 %, čímž určíme příkon transformátoru. Příkon transformátoru je tedy

$$P_p = \frac{P_s}{\eta} = \frac{I_s U_s}{\eta}$$

kde P_p je příkon transformátoru (primární strana transformátoru) [W],

P_s výkon transformátoru (sekundární strana) [W],

η účinnost (je větší u větších a menší u menších transformátorů), obvykle se počítá s účinností 0,8 až 0,9,

I_s největší efektivní hodnota proudu procházejícího sekundárním vinutím [A],

U_s efektivní hodnota sekundárního napětí transformátoru [V].

Pro efektivní hodnotu primárního proudu platí

$$I_p = \frac{P_p}{U_p}$$

kde význam symbolů je shodný jako u předchozí rovnice.

V tab. 12 zjistíme průměry drátů D pro vinutí. Vychází-li z výpočtu průměr drátu, který není uveden v tabulce, volíme drát většího průměru (vzhledem k dlouhodobému provozu nabíječe, neboť při větším průměru drátu se zmenšují ztráty vznikající v odporu mědi a zmenšuje se i ohřev drátu a celého transformátoru). K vinutí používáme většínou dráty izolované lakem (označení CuL).

Dále je třeba zjistit, je-li možné transformátor se zvolenými dráty a počty závitů realizovat. Postupujeme tak, že vypočítáme součiny W/D_2 ; N_2/D_2 ; (popř. N_3/D_2 , atd.) a součet všech těchto ploch pro jednotlivá vinutí, by neměl být větší než 50% celkové plochy pro vinutí, kterou zjistíme z tab. 11. Je-li součet větší, je třeba zvolit větší jádro a výpočet opakovat.

Mezi primární a sekundární vinutí a mezi jednotlivé vrstvy vinutí se vkládá transformátorový papír nebo lepenka takové tloušťky (nebo

Tabulka 12. Dráty CuL pro transformátor

Průměr drátu mm	Proud I při proudové hustotě 2,5 A/mm ²	Počet závitů na 1 cm ² plochy pro vinutí	Průměr drátu mm	Proud I při proudové hustotě 2,5 A/mm ²	Počet závitů na 1 cm ² plochy pro vinutí
0,16	44 mA	2800	1	1,96 A	83
0,18	64 mA	2000	1,1	2,4 A	65
0,2	79 mA	1650	1,2	2,8 A	52
0,22	95 mA	1300	1,3	3,3 A	42
0,26	123 mA	1260	1,4	3,9 A	40
0,3	177 mA	770	1,5	4,4 A	33
0,35	241 mA	625	1,6	5 A	28
0,4	314 mA	450	1,7	5,7 A	
0,45	398 mA	360	1,8	6,4 A	
0,5	0,5 A	300	2	7,9 A	
0,6	0,7 A	210	2,2	9,5 A	
0,7	0,96 A	155	2,5	12,3 A	
0,75	1,1 A	140	2,8	15,4 A	
0,8	1,25 A	120	3	17,7 A	
0,9	1,6 A	100			

tolik vrstev), aby nemohlo dojít k elektrickému průrazu izolace. Po navinutí a vyzkoušení se transformátor dokonale vysuší v suchém prostředí při teplotě asi 80 až 100 °C a potom se máčí v impregnační lázni. Lze použít např. vosk T 100 nebo namáčecí vypalovací transformátorový lak. Touto úpravou se zlepši izolační vlastnosti transformátoru, zamezí se jeho navlhání, fixuje se poloha drátů vinutí a zlepšuje se přechod tepla z vinutí na povrch transformátoru.

40. Usměrňovače

V současné době se používají k usměrnění střídavého proudu převážně křemíkové polovodičové diody, tyristory a triaky. Přehled těchto součástek s potřebnými údaji lze najít v katalogu n. p. TESLA Rožnov. U jednotlivých typů nabíječů, které budou v této publikaci popsány, jsou pro základní zapojení uvedeny typy použitých součástek. Protože není u většiny nabíječů detailně rozkreslena konstrukce přístroje (každý použije při realizaci obvykle odlišný základní materiál), je vhodné upozornit na zásady pro umístění usměrňovačů na chladiči.

Rozměr vlastní usměrňovací součástky je v porovnání s ostatními součástkami usměrňovače relativně velmi malý. Pro správnou funkci usměrňovače je však zapotřebí mnohonásobně zvětšit povrch usměrňovací součástky vhodným chladičem, který odvádí teplo do okolí.

Průchodem proudu vzniká na polovodičovém přechodu usměrňující součástky napětí dosahující až 1,1 V. Maximální ztrátový výkon na polovodičovém přechodu při usměrňování je

$$P_{\max} = U_{AK}I$$

kde U_{AK} je úbytek napětí na polovodičovém přechodu usměrňující součástky,

I proud procházející polovodičovou součástkou $[A]$,

Při jednocestném usměrnění je proud I většinou roven přímo maximálnímu požadovanému proudu nabíječe. Při můstkovém usměrnění (nebo při dvojcestném usměrnění) je proud I roven polovičnímu proudu nabíječe.

Plochu chladiče, který je s polovodičovou součástkou spojen tak, aby odvedl do okolí co největší teplo, lze vypočítat ve vztahu

$$S = \frac{P_{\max}}{(\theta_1 - \theta_2) \delta}$$

kde S je plocha chladiče [cm^2],
 P_{max} maximální ztrátový výkon [W],
 v_1 teplota chladiče (volíme v rozmezí 75 až 90 °C),
 v_2 maximální teplota okolí (asi 35 °C),
 δ ochlazovací konstanta (0,001 až 0,00065 W/ cm^2 °C); konstanta vyjadřuje množství tepla odvedeného z jednotkové plochy chladiče do okolí při rozdílu teplot 1 °C.

Tento výpočet je však pouze orientační. Nerespektuje vnitřní a přechodové tepelné odpory jak samotné polovodičové součástky, tak použitého chladiče. Výrobci polovodičových součástek se snad záměrně konkrétním doporučením pro nutný chladič vyhýbají, i když je obvykle třeba chladič použít k tomu, abychom mohli polovodič zatěžovat plným výkonem. Ve většině katalogů najdeme pro tepelné zatížení údaje o maximální dovolené trvalé teplotě pouzdra a maximální dovolený zatěžovací výkon. To k přesnému výpočtu chladiče zdaleka nestačí. Pokud se však jeho velikost určí z dříve uvedeného vztahu a chladič ještě trochu předimenzujeme, nesetkáme se při používání běžných polovodičových součástek s potížemi.

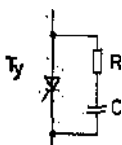
41. Odrušovací součástky

Při spínání střídavého proudu tyristory nebo triaky vznikají přechodné jevy s velkým množstvím nežádoucích harmonických kmitočtů. Tyto kmitočty pak ruší příjem okolních rozhlasových i televizních přijímačů. Proto každý, kdo vyrobí jakékoli zařízení s tyristorovou nebo triakovou regulací střídavého nebo jen impulsového proudu, se musí zabývat jejím odrušením.

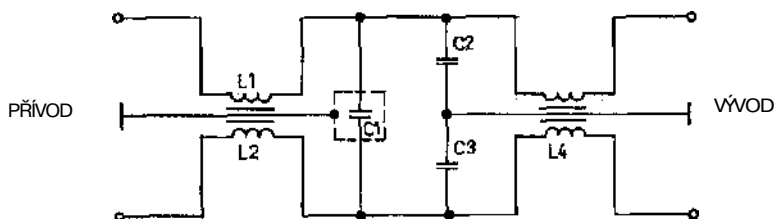
Nejjednodušším odrušovacím členem je kondenzátor připojený k primárnímu vinutí transformátoru, bývá to zpravidla MP kondenzátor v rozsahu 10 až 100 nF.

Obvyklé je používání tzv. plovoucí ochrany tyristoru nebo triaku (obr. 35), před náhodnými napěťovými špičkami v době, kdy je součástka v rozepnutém stavu. Odpor R tvoří pouze proudový omezovací člen. Při regulaci síťového napětí 220 V se užívá obvykle odpor R asi 100 Ohm a kondenzátor asi 1 μF . Tato napěťová ochrana tvoří zároveň výborný odrušovací člen. Mnohdy však nestačí, a proto se do přívodu střídavého napětí vkládají ještě další odrušovací členy LC , které mají zabránit šíření vyšších harmonických kmitočtů do síťového rozvodu

elektrické energie. Výrobou těchto odrušovacích členů, tlumivek a kondenzátorů se zabývá n. p. TESLA Lanškroun. Provedení jejich odrušovacího filtru WN 85 202 je na obr. 36. V tab. 13 a 14 jsou uvedeny některé vyráběné odrušovací tlumivky. Zapojují se do přívodu síťového střídavého napětí a kombinují se popřípadě s dalšími kondenzátory.



Obr. 35. Plovoucí ochrana tyristoru



Obr. 36. Schematické znázornění odrušovacího filtru WN 85 202

Tabulka 13. Odrušovací tlumivky na feritových jádrech E se dvěma symetrickými vinutími

Typ	Indukčnost	Jmenovitý proud [A]	Vlastní rezonanční kmitočet [kHz]	Vnější rozměr složeného E jádra [mm]
WN 68201	2 x 2,5	1	0,24	22 X 17,5
WN 66202	2 x 2,5	1,6	0,35	26 x 21
WN 68203	2 x 2,5	2,5	0,35	33,5 x 27
WN 66205	2 x 2,5	10	0,20	56,5 x 56,5
WN 00206	2 x 6,3	1	0,20	26 x 21
WN 62707	2 x 6,3	1,6	0,20	33 x 27
WN 62808	2 x 6,3	4	0,15	44 X 42,5
WN 68209	2 x 6,3	6	0,15	56,5 x 56,5

Tabulka 14. Odrušovací tlumivky na toroidním feritovém jádře o rozměrech: vnější průměr 35 mm, vnitřní průměr 10 mm i s vodiči

Typ	Jmenovitá indukčnost mH	Jmenovitý proud A
WN 682 11	2x 4	2,5
WN 682 12	2x 10	1,6
WN 682 13	2x 10	1,6

42. Měřicí přístroje

U většiny nabíječů (ať jsou vyráběny amatérsky nebo průmyslově) se k měření nabíjecího proudu používají ručkové měřicí přístroje. Někdy jsou nabíječe také vybaveny voltmetrem, který ukazuje napětí nabíjeného akumulátoru. Protože se nabíječe používají obvykle v prostředí garáží apod., a protože jsou většinou často přemísťovány, dáváme přednost přístrojům s robustnějším provedením měřicího mechanismu.

Nejpoužívanějšími měřicími systémy v nabíjecích jsou:

- a) magnetoelektrický systém,
- b) elektromagnetický systém.

a) Magnetoelektrické přístroje využívají ke své činnosti magnetické pole permanentního magnetu, v jehož vzduchové mezeře se otáčí rámeček (obvykle hliníkový), na kterém je umístěno vinutí z měděného nebo hliníkového drátu. Tímto vinutím prochází proud, který je definovatelnou částí měřeného proudu u ampérmetrů, nebo přímo úměrný měřenému napětí u voltmetrů.

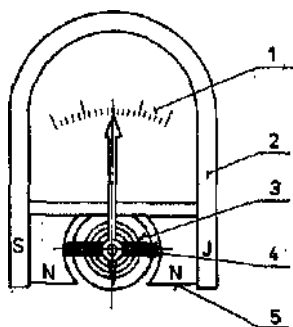
Kostra je otáčivě upevněna ve dvou hrotech a je k ní upevněna ručka přístroje. V jednom směru působí na kostru tzv. direktivní moment pomocné pružiny a v opačném směru moment, vzniklý průchodem proudu vodičem vinutí v magnetickém poli, o velikosti

$$M = BSN I$$

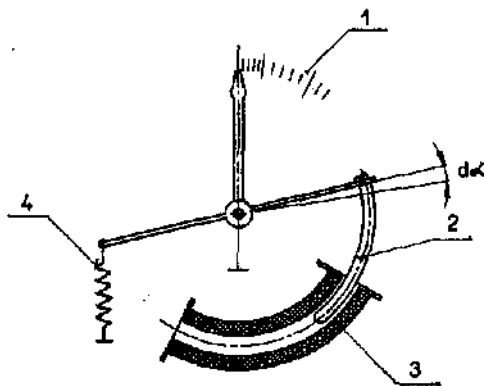
kde M je celkový moment působící na pohyblivou část ústrojí,

- B magnetická indukce ve vzduchové mezeře,
- S aktivní plocha cívky (průměr cívky násobený aktivní délkou vodiče),
- N počet závitů cívky,
- I proud cívky.

Při neobvyklejším uspořádání (obr. 37) zůstává aktivní plocha cívky při otáčení v určitém úhlu stejná a totéž platí v určitých mezích o magnetické indukci B . Proto platí mezi výchylkou přístroje a proudem, který cívkou prochází, přímá úměrnost. Stupnice přístroje je tedy rovnoměrná. Magnetoelektrickým přístrojem nelze měřit přímo střídavý proud.



Obr. 37. Magnetoelektrický přístroj. 1 — stupnice, 2 — permanentní magnet, 3 — pomocná pružina, 4 — cívka s vinutím, 5 — pólový nástavec



Obr. 38. Elektromagnetický přístroj. 1 — stupnice, 2 — feromagnetický materiál, 3 — rámeček s vinutím, 4 — vratná pružina

Usměrníme-li střídavý proud nebo prochází-li cívkou proud měnící se velikostí, je výchylka magnetoelektrického systému úměrná střední hodnotě procházejícího proudu i .

$$\frac{1}{T} \int_0^T i \, dt$$

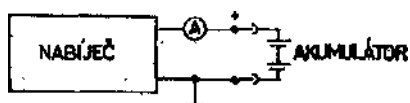
b) Elektromagnetické (též feromagnetické) přístroje mají pohyblivou část z feromagnetického materiálu. Tato část (obr. 38) se pohybuje v dutině cívky, již prochází proud. Cívka má snahu vtáhnout feromagnetickou část do takové polohy, při níž je indukčnost cívky maximální. Pokud je pohyblivá část upevněna na ose, podobně jako tomu bylo u magnetoelektrického systému, působí na vychýlení systému moment úměrný druhé mocnině efektivní hodnoty proudu, který cívkou prochází

$$M = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I_{\text{eff}}^2$$

Pro elektromagnetické přístroje je charakteristický nelineární průběh stupnice měřidla, který bývá na počátku zhuštěný a přístroj zde má malou citlivost. Výhodou je, že výchyłka přístroje je úměrná efektivní hodnotě střídavého proudu a přístroj měří jak stejnosměrný, tak střídavý proud.

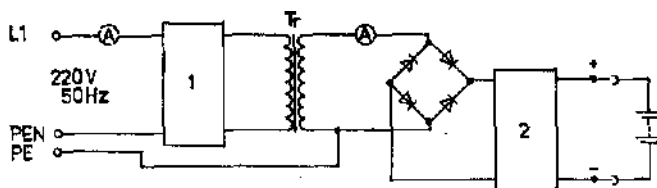
43. Ampérmetry

Ampérmetry používáme k měření velikosti nabíjecího nebo vybíjecího proudu. Aby ampérmetrem procházel celý nabíjecí proud, je třeba jej zapojit s akumulátorem do série. Nejvhodnějším způsobem je připojit ho přímo k neuzemněné svorce nabíječe podle obr. 39. U někte-



Obr. 39. Připojení ampérmetru k nabíječi

rých nabíječů ho lze (vzhledem k malým příčným proudům dnes převážně používaných křemíkových usměrňovačů) připojit do obvodu střídavého proudu před usměrňovač, jak ukazuje obr. 40, pokud je i příčný proud v obvodech označených číslicí 2 zanedbatelný proti



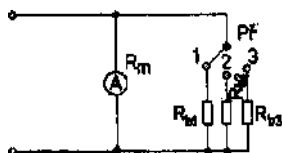
Obr. 40. Připojení ampérmetru do obvodu střídavého proudu

měřenému proudu. Tak tomu je např. u nabíječe bez vnějších odporů nebo i u nabíječe s odporovým omezením atd. Zapojit ampérmetr do síťového přívodu, jak je na obr. 40 vyznačeno čárkovaně, je méně vhodné, neboť měřicím přístrojem prochází ztrátový proud transformátoru a proudy pomocných obvodů 1 a 2. Za předpokladu, že jsou tyto proudy stálé, je možné oceňovat ampérmetr ve skutečných hodnotách nabíjecího proudu. Toto zapojení přichází v úvahu při použití společného měřidla u několika nabíječů stejných vlastností.

V elektrochemických procesech, kde chemický účinek závisí na elektrickém množství, se uplatňuje střední hodnota nabíjecího proudu. Z toho vyplývá, že nejvhodnější použití je ampérmetru s magnetoelektrickým systémem. Obzvláště u nabíječů s tyristorovým řízením proudu se značně liší efektivní a střední hodnota proudu a mohlo by dojít k chybnému měření. Pokud je použito systému, který měří jinou než střední hodnotu, je třeba stupnici ocechovat podle externího měřidla potřebných vlastností. U nabíječů s proudovou zpětnou vazbou a u nabíječů s ferorezonančními obvody se však může značně měnit činitel tvaru střídavého nabíjecího proudu v závislosti na zátěži (tj. na množství sériově řazených nabíjených článků), a proto je třeba při ocechování stupnice měřícího přístroje zjistit souhlas stupnic při odlišných podmínkách.

44. Bočníky

Cívkou měřícího přístroje prochází obvykle pouze část měřeného proudu. Výchylka přístroje je úměrná skutečné hodnotě měřeného proudu pouze tehdy, pokud je tato část přesně definována. K tomu účelu nám slouží tzv. bočníky. Bočník je odpor připojený paralelně



Obr. 41. Bočníky ampérmetru A

k měřicímu přístroji (obr. 41). Celkový měřený proud se pomocí bočníku rozdělí do dvou větví; velikost dílčích proudů je nepřímo úměrná impedanci měřícího přístroje a bočníku.

Platí zde vztah

$$U = I_m R_m = I \frac{R_b R_m}{R_b + R_m}$$

kde U je napětí na svorkách přístroje,

I celkový proud jako součet $I = I_m + I_b$

I_m proud procházející měřicím přístrojem,

R_m odpor měřícího přístroje,

I_b proud bočníkem,

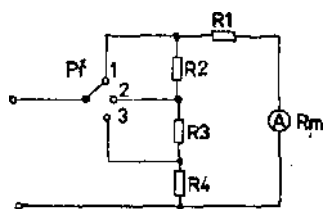
R_b odpor bočníku.

Nazveme-li poměr $\frac{I}{I_m} = p$, vypočítáme velikost odporu bočnicku ze vztahu

$$R_b = \frac{R_m}{p - 1}$$

Odporem R_b zapojeným paralelně k měřicímu přístroji zvětšíme tedy proudový rozsah p -násobně.

Pokud chceme přepínat několik rozsahů měřeného proudu (např. u nabíječe podle obr. 92), je vhodné zapojit bočnicku pro jednotlivé rozsahy podle obr. 42. Tomuto uspořádání říkáme kruhový bočník (ve starší literatuře se nazývá Ayrtonův) a zapojení má tyto hlavní výhody proti způsobu z obr. 41:



Obr. 42. Kruhový bočník

a) při přepínání rozsahů zůstává měřicí přístroj připojen k celkovému bočnicku a nehrozí zničení přístroje příliš velkým proudem v okamžicích přepínání rozsahů;

b) přechodové odpory přepínače se neuplatní v obvodu měřicího přístroje tak, aby ovlivnily jeho přesnost;

c) bočník je méně závislý na změnách teploty.

Výpočet jednotlivých odporů podle zapojení na obr. 42 je poněkud složitější. Pro každou z jednotlivých poloh přepínače platí vztah

$$R'_b = \frac{R'_m}{p - 1}$$

kde R'_m je součet odporu měřicího přístroje a odporů zapojených s ním do série.

V poloze 1 je tedy

$$R'_{m1} = R_m + R_1$$

v poloze 2

$$R'_{m2} = R_m + R_1 + R_2 \quad \text{atd.}$$

Odpor R'_b je také v každé poloze jiný a je určen součtem odporů mezi příslušnou polohou přepínače a dolní svorkou měřicího přístroje.

V poloze 1 je

$$R'_{b1} = R_2 + R_3 + R_4$$

v poloze 2

$$R'_{b2} = R_3 + R_4 \quad \text{atd.}$$

Celkový odpor obvodu je

$$R = R_m + R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_4 + R_3 + R_2 = R'_{01} = \frac{R_m + R_1}{p_1 - 1}$$

$$R_4 + R_3 = \frac{R}{p_2}$$

$$R_4 = \frac{R}{p_3}$$

p_1, p_2 a p_3 jsou poměry bočníku pro polohy přepínače 1, 2 a 3.

Uveďme si příklad pro zapojení měřicího přístroje podle obr. 92. Použijeme-li měřicí přístroj MP 80 se základním rozsahem 250 μ A, který má odpor $R_m = 260$ Ohm (odpor $R_{15} = 0$), potom pro rozsahy uvedené na obr. 92 platí vztah

$$p_1 = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{250 \cdot 10^{-6} \text{ A}} = 4$$

podobně

$$p_2 = 40; p_3 = 400; p_4 = 4000; p_5 = 24\,000$$

$$R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14} = \frac{R_m}{p_1 - 1} = \frac{260 \text{ } \Omega}{3} = 86,66 \text{ } \Omega$$

$$R = 346,66 \text{ } \Omega$$

$$R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{13} = \frac{R}{p_2} = 8,66 \text{ } \Omega$$

$$R_{10} + R_{11} + R_{12} = \frac{R}{p_3} = 0,866 \text{ } \Omega$$

$$R_{10} + R_{11} = \frac{R}{p_4} = 86,6 \text{ m}\Omega$$

$$R_{10} = \frac{R}{p_5} = 14,4 \text{ m}\Omega$$

Bočníky se vyrábějí obvykle z manganinových nebo konstantanových drátů.

Manganin je slitina 86% mědi, 12% manganu a 2% niklu. Jeho měrný elektrický odpor je $0,43 \cdot 10^{-6}$ Ohm. Manganin je vhodný pro výrobu bočníku vzhledem k malému termoelektrickému napětí proti mědi, jeho odpor málo závisí na teplotě, má malý teplotní součinitel odporu.

Konstantan tvoří slitina 54% mědi, 45 % niklu a 1 % manganu. Jeho měrný elektrický odpor je $0,5 \cdot 10^{-6}$ Ohm meter,

Potřebnou délku drátu pro bočník vypočítáme ze vztahu

$$R = \varrho \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega\text{m}, \text{m}, \text{m}^2]$$

kde R je odpor bočníku,

l délka drátu,

S průřez vodiče,

ϱ měrný elektrický odpor.

Po navinutí a upevnění drátu bočníku je třeba odpor bočníku opět přeměřit a upravit. Průměr drátu a konstrukci cívky volíme tak, aby nebyl bočník příliš teplotně namáhán. Teplota bočníku by neměla nikdy přestoupit 100°C .

Citlivost použitého měřicího přístroje musí být při použití kruhového bočníku vády větší, než je nejmenší potřebný proudový rozsah.

Z přístrojů vyráběných n. p. Metra Blansko je nejvhodnější použít přístrojů typu MP 80, MP 120 a MP 40 (popř. pro některé nabíječe použít vyráběné elektromagnetické přístroje).

Vyráběné magnetoelektrické přístroje mají tyto vnitřní odpory:

Rozsah	MP 80 a MP 120	MP 40
100 μA	1800 Ω	1800 Ω
150 μA	850 Ω	800 Ω
250 μA	260 Ω	800 Ω
600 μA	750 Ω	330 Ω
1 mA	185 Ω	330 Ω
1,5 mA	125 Ω	80 Ω
2,5 mA	50 Ω	33 Ω
4 mA	33 Ω	18 Ω
6 mA	15 Ω	7 Ω
10 mA	3 Ω	3,5 Ω

45. Předřadné odpory k voltmetru

Pokud použijeme měřicí přístroj jako voltmetr, musíme do série s měřicím přístrojem zařadit odpor, který upraví jeho citlivost. Tento odpor R zapojený do série s přístrojem musí spolu s odporem měřicího přístroje omezit proud v obvodu na velikost, při které největší měřené napětí nevychýlí ručku přístroje více, než je rozsah stupnice.

Jako voltmetr použijeme přístroj, který má základní rozsah v rozmezí hodnot uvedených v tabulce (tj. od 100 uA do 10 mA).

Při nabíjení malých akumulátorů, u nichž je nabíjecí proud malý, použijeme samozřejmě přístroj s velkým vnitřním odporem, aby měření neovlivnilo funkci nabíječe.

Podle cejchování stupnice rozhodneme o základním rozsahu voltmetru. Pro voltmetr v dvanáctivoltovém nabíječi akumulátorů volíme tento rozsah obvykle 20 nebo 25 V.

Přístroj s proudovou citlivostí I_m upravíme na voltmetr s rozsahem napětí U tak, že do série zapojíme předřadný odpor o velikosti

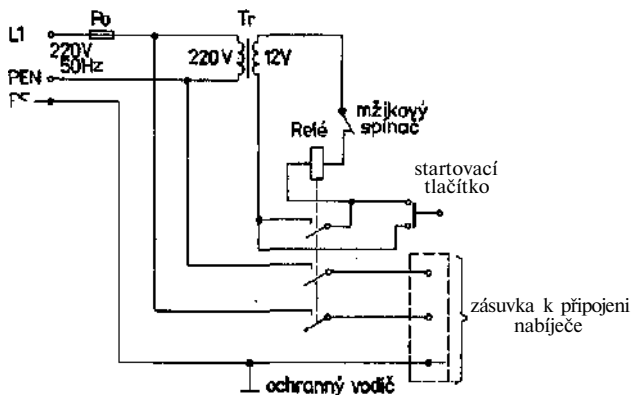
$$R_p = \frac{U}{I_m} - R_m$$

Použijeme-li např. přístroj s rozsahem 1 mA a dělením stupnice 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 mA, je vhodné upravit jeho rozsah na 25 V. Pro přístroj MP 40 (vnitřní odpor přístroje je 330 Ohm,), pak je předřadný odpor

$$R_p = \frac{25 \text{ V}}{0,001 \text{ A}} - 330 \Omega = 24\,670 \Omega$$

46. Časové spínače

Pokud použijeme při nabíjení akumulátoru nabíječ s charakteristikou I (obr. 32), můžeme obvykle stanovit potřebnou dobu nabíjení. K samočinnému hlídání této doby nebo k ovládání jednotlivých cyklů nabíječe používáme časové spínače.



Obr. 43. Použití relé

Protože doba nabíjení je řádově několik hodin, přicházejí v úvahu nejčastěji časové spínače s hodinovým strojkem. Lze použít také některé elektronické hodiny, zejména digitální hodiny s předvolbou nastaveného času, doplněné o vnější spínací obvody. Časové spínače založené na době nabíjení kondenzátorů (při použití tranzistorů typu MOS s velkým vstupním odporem) nedávají vlivem značné teplotní závislosti použitých součástek reprodukovatelné časové hodnoty.

V amatérských konstrukcích lze použít upravené budíky, které jsou nedostupnější a také nejlevnější. Z hlediska bezpečnosti obsluhy je třeba použít spínací členy, které oddělují galvanicky spínací kontakt v budíku od sítě a které jsou napájeny z nízkonapětového zdroje. Mohou to být např. relé. Jeden ze způsobů zapojení je na obr. 43.

K napájení pomocného relé Re je použit oddělovací transformátor Tr. Rozpínacím kontaktem, který je umístěn v budíku, může být např. miniaturní mžikový spínač. Ten upevníme tak, aby rozeplnul v okamžiku, kdy budík dosáhne nastaveného času. Tím je přerušen obvod samodržného kontaktu relé Re a nabíječ se odpojí od sítě. Kovové části budíku je třeba zvláštním vodičem spojit k ochrannému kolíku síťové zástrčky. Součásti, na nichž je síťové napětí, je třeba umístit do ochranného krytu, který (pokud je kovový) také připojíme na ochranný vodič.

Abychom nemuseli zasahovat do mechaniky budíku, je možné mžikový spínač upevnit na zadní straně budíku v blízkosti klíčky pro natahování zvonku. Tato klíčka se totiž během zvonění obvykle otáčí a jejího pohybu lze jednoduchou vačkou využít k rozepnutí kontaktu. Pro odpadnutí relé přitom postačí krátkodobé přerušení obvodu.

Kromě spotřebitelských časových spínačů s rozsahem 0 až 24 hodin, které jsou vybaveny síťovou zástrčkou a stupnicí pro nastavení času, existuje mnoho časových spínačů, vyráběných pro průmyslové použití. Tyto časové spínače je možné čas od času koupit ve výprodeji. V ČSSR se jejich výrobou zabývá n. p. ZPA Trutnov. Jmenujme alespoň:

Dlouhodobé časové relé TM 10

Toto relé obsahuje synchronní motorek se spojkou. Má varianty až do spínacího (rozpínacího) času 24 hodin. Potřebný čas lze nastavit na stupnici. Po sepnutí spínače V se rozběhne motorek a přitáhne spojka S. Od tohoto okamžiku odbíhá čas nastavený na stupnici. Po dosažení předvoleného času odpojí kontakt m nabíječ od sítě. Po rozepnutí spínače V se vrátí mechanismus do výchozí polohy a dalším sepnutím tohoto spínače je možné opět odměřovat další nastavený čas. Kontakt m může spínat střídavý proud až 6 A a vypínat střídavý proud 1,5 A při napětí 220 V. Pokud bychom měli v úmyslu ovládat

postupně několik odlišných nabíjecích cyklů s různou dobou trvání, museli bychom použít několik Časových spínačů.

Dlouhodobé časové relé typu TM 12 (opět n. p. ZPA Trutnov) je podobné relé moderní konstrukce. Vyrábí se do spínacích (rozepínacích) časů až 60 h.

47. Ochrana nabíječů

Pokud je nabíječ správně navržen z hlediska plochy chladičů, průměrů vodičů, správné volby prvků elektrické i mechanické konstrukce, může ohrozit jeho správnou činnost i nesprávná manipulace při nabíjení.

Podíváme-li se na schémata nabíječů, vidíme, že při přepólování výstupních svorek při připojení k akumulátoru nebo při zkratu mezi nimi může dojít ke zničení některých nabíječů. Pokud nejsme schopni zabránit takovému přepólování nebo zkratu mechanickým způsobem (např. tvarem nebo délkou připojovacích svorek), je vhodné doplnit některé z nabíječů ochrannými členy.

Nabíječům s charakteristikou tvaru I obvykle vnější zkrat nevádí. Proud se při zkratu nezvětšuje, avšak celý příkon nabíječe se mění ve ztrátu na regulačním členu. Pokud je tímto členem např. tranzistor, může dojít za určitou dobu k jeho zničení. Krátkodobý zkrat, ke kterému může dojít při připojování svorek, obvykle nabíječům s charakteristikou tvaru I neuškodí.

Horší je to s nabíječi, jejichž výstupní odpor je malý (charakteristika tvaru U). U těchto přístrojů prochází při zkratu proud schopný zničit polovodičovou součástku během zlomku sekundy. Tyto nabíječe je třeba chránit speciálními, rychle působícími pojistkami, a to většinou elektronickými.

Nabíječe s odporovým omezením proudu, mající charakteristiku tvaru W, lze spolehlivě chránit proti zkratu tavnou pojistkou, zapojenou do série s neuzemněnou výstupní svorkou, která je dimenzována na maximální proud nabíječe.

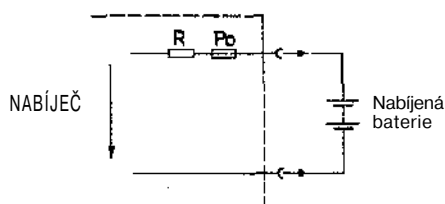
U nabíječů používajících ke stabilizaci proudu žárovek (charakteristika tvaru G) nahradí funkci této pojistky vlákno žárovky, které nás také upozorní na krátkodobý zkrat.

Nejvýhodnější je z hlediska možného zkratu na svorkách používat nabíječe s proudovým omezením, které zamezí nárůstu proudu nad

Poznámka: Pokud jsou u těchto nabíječů tavné pojistky, nechrání nabíječ před zkratem, ale před zničením v případě poruchy regulačního členu.

určitou mez. Takový nabíječ má charakteristiku vyznačenou na obr. 32. Charakteristiku tohoto tvaru získáme elektronickými obvody, jejichž doba reakce na zkrat je tak krátká, že nedojde ke zničení regulačního členu.

Mnohem větším nebezpečím pro nabíječe je přepólování připojovacích svorek k akumulátoru; např. u nabíječe s kondenzátory podle obr. 68 dojde v tomto případě ke zničení usměrňovací diody nebo k přerušení sekundárního vinutí transformátoru. Nebezpečí zničení těchto částí hrozí i při vypnutém nabíječi od síťového napětí, nebo! z akumulátoru prochází v obvodu sekundárního vinutí transformátoru proud, omezený pouze velmi malým odporem tohoto vinutí. Nejvhod-



Obr. 44. Ochrana nabíječe tavnou pojistkou Po s omezovacím odporem R

vnější ochranou takového nabíječe je opět tavná pojistka, dimenzovaná na maximální proud nabíječe a volba takové usměrňovací diody, která je krátkodobě (po dobu, než dojde k přetavení pojistky) schopná vydržet toto nadměrné proudové zatížení. Krátkodobé vlastnosti diod bývají uvedeny v katalogu. Pokud by byla potřebná dioda příliš nákladná nebo rozměrná pro konstruovaný nabíječ, lze omezit proud procházející diodou při přepólování nabíječe odporem, zapojeným do série s tavnou pojistkou (obr. 44). Velikost odporu je malá a při normálním nabíjení neomezí úbytek na tomto odporu vlastnosti nabíječe.

Nabíječe, které používají k regulaci elektronické součástky, tj. tranzistory a tyristory chráníme takto:

U tranzistorových nabíječů se obvykle přičítá napětí přepólovaného akumulátoru k usměrněnému napětí z transformátoru a proud, který nám ukazuje ampérmetr, se nezmění, pokud je tranzistor na součtové napětí dimenzován. Tranzistor musí tedy mít závěrné napětí mezi kolektorem a emitorem rovné minimálně tomuto součtovému napětí. Ztráta vznikající na takovém tranzistoru je nyní rovna součinu součtového napětí a nastaveného proudu. I tepelný výkon vzniklý na přechodu tranzistoru musí být spolehlivě odveden chladičem. Pokud tomu tak není, tranzistor se za určitou dobu zničí.

U tyristorových nabíječů začne při přepólování akumulátoru procházet proud z akumulátoru omezený pouze odporem sekundárního

vinutí, popř. omezovacím odporem. Zde opět vystačíme s tavnou pojistkou, zvolenou pro maximální proud nabíječe. Přitom je třeba dbát toho, aby ani na pomocných polovodičových součástkách nabíječe nevzniklo napětí ohrožující jejich správnou činnost; např. nabíječ podle obr. 88 je možné přepólováním akumulátoru zničit, neboť integrovaný obvod MAA 723 nemá jištění proti opačnému napětí mezi body 1 a 5. Aby nedošlo k ohrožení obvodu proudového omezení, je třeba doplnit základní schéma o pojistku Po a diodu D5. Při přepólování se přes diodu tato pojistka přetaví a odpojí se akumulátor od nabíječe.

V každém případě je vhodné zabránit přepólování akumulátoru přehledným označením svorek, nejlépe barevným odlišením, které současně provedeme na samotném akumulátoru (kladný pól označíme červeně, záporný pól označíme modře). Ani profesionální výrobky nemívají spolehlivou ochranu proti přepólování nebo dlouhodobému zkratu. Elektronické doplňkové obvody jsou poměrně nákladné a jejich instalace se vyplácí pouze u často neodborně obsluhovaných nabíječů.

VIL AKUMULÁTOR V MOTOROVÉM VOZIDLE

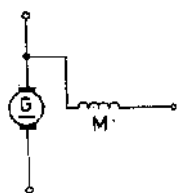
V motorovém vozidle zastává akumulátor funkci tzv. sekundárního zdroje proudu. Elektrická energie se zde hromadí a kryje spotřebu v době, kdy nepracuje generátor nebo jeho okamžitý výkon není dostačující. Nejčastěji se používá olověných akumulátorů, které mají dnes průměrnou dobu života při provozu ve vozidle tři až čtyři roky. Alkalických akumulátorů se používá méně, ačkoliv jejich vlastnosti jsou právě pro provoz v motorových vozidlech výhodné. Cena těchto akumulátorů je pětinasobná až sedminásobná v porovnání s olověným akumulátorem, ale jejich dobu života, která je více než sedminásobná, není vzhledem k době života motorových vozidel možné využít [29]. Stříbrozinkové akumulátory se používají jen zřídka ve speciálních, zvláště závodních vozidlech. Jejich cena je vysoká a doba života malá.

Akumulátoru ve vozidle je třeba věnovat zvláštní pozornost. Jeho nabíjení ve vozidle se provádí sice samočinně, avšak je nutné správné nabití, hustotu a hladinu elektrolytu pravidelně (alespoň jednou měsíčně) kontrolovat. Obzvláště v chladném období a v zimě je třeba kontrolovat stupeň nabití, neboť startér musí překonávat větší mechanický odpor ztuhlých mazacích olejů v motoru, převodovce a převodových ústrojích. Při nedostačujícím nabití je nutné bezodkladně akumulátor dobít, neboť hrozí jeho rychlé zničení. Také v případě, že používáme motorové vozidlo v městském provozu s častým startováním a jízdami na krátké vzdálenosti, je pravidelné dobíjení akumulátoru nezbytné. Někteří výrobci akumulátorů doporučují pro prodloužení doby života i nový akumulátor jednou nebo dvakrát do roka řádně dobít.

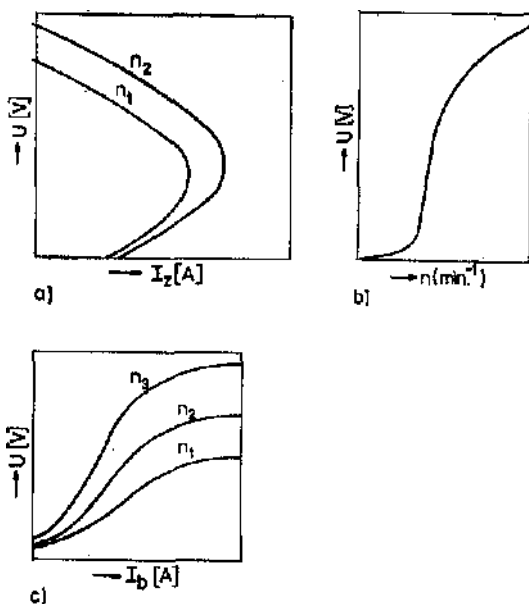
Akumulátor nabíjíme mimo vozidlo. Při nabíjení ve vozidle se brzy projeví v okolí akumulátoru vliv částeczek kyseliny, které unikají z akumulátoru spolu s plyny. I při běžném provozu, kdy je akumulátor uzavřen zátkami, se dostává kyselina v podobě jemných částeczek ven z akumulátoru. Proto je velmi důležité pravidelné čištění akumulátoru a jeho okolí. Jednak proto, že karoserie může korodovat, jednak proto, že se spíše zamezí vniknutí nečistot do článků při doplňování elektrolytu. Existují speciální zátky (Čsl. patent č. 129590), které odvádějí

plyny mimo uzavřený prostor akumulátoru a zmenšují možnost znečištění akumulátoru a jeho okolí. Kovové části akumulátoru se po vyčištění konzervují slabou vrstvou tuku. Pod svorky připojovacích kabelů je vhodné navléci na připojovací nástavce akumulátoru plstěné kroužky napuštěné olejem, které zabrání korozi připojovacích svorek v místě, kde často prolíná kyselina. Předjdeme tak zvětšení přechodového odporu svorek, který je zvláště citelný u vozidel s šestivoltovým akumulátorem.

Také obvodům, které souvisejí s nabíjením akumulátoru, je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Sem patří péče o dynamo s vibračním regulátorem nebo alternátor.



Obr. 45. Základní schéma dynamo



Obr. 46. Charakteristiky stejnosměrného dynamo

Dynamo je stejnosměrný rotační generátor, který je dosud nejčastěji používán jako základní zdroj, který dodává veškerou elektrickou energii pro provoz vozidla.

Základní schéma dynamo je na obr. 45. Je to derivační stroj, který umožňuje snadnou regulaci napětí. Velikost napětí na svorkách dy-

nama závisí na velikosti budicího proudu dynamy a na otáčkách. Závislosti mezi napětím a těmito veličinami vyjadřují křivky na obr. 46. Z obrázků vyplývá možnost regulovat napětí dynamy. Po dosažení určitých otáček se rychle zvýší svorkové napětí a při dalším zvyšování otáček se toto napětí zvyšuje již podstatně méně. Změnou budicího proudu lze napětí dynamy regulovat ve značném rozsahu. Jednotlivé křivky na obr. 46c odpovídají různým budicím proudům. Na obr. 46a je charakteristický průběh závislosti napětí dynamy na zatěžovacím proudu.

Dynamo musí být doplněno regulátorem, který reguluje napětí dynamy tak, aby jeho funkce vyhovovala pokud možno nejširšímu rozpětí provozních poměrů motorového vozidla. Dynamo musí krýt spotřebu vozidla a dobíjet akumulátor pokud možno v celém rozsahu pracovních otáček motoru. Přitom mohou (nebo nemusí) být připojeny všechny spotřebiče elektrické energie vestavěné ve vozidle.

Často se používají dynamy jako nabíječe pro akumulátory používané k osvětlování chat apod. Jako zdroje pohybové energie je využíván vítr nebo tekoucí voda. Také v tomto případě je třeba doplnit dynamo regulátorem, který zajišťuje, aby nedošlo ke zničení akumulátoru nadměrným proudem nebo k vybití akumulátoru přes vinutí dynamy, pokud se dynamo neotáčí. Regulátory bývají většinou realizovány elektromechanickými členy. Využívá se zde vlastností relé, jehož pracovní kontakty po dosažení určitého proudu přepínají elektrický obvod. Nejběžněji se používá regulátor se dvěma relé. Jedno z nich pracuje jako spínač a druhé jako regulátor napětí. Po dosažení potřebných otáček dynamy, při nichž svorkové napětí dynamy převyšuje napětí akumulátoru, sepne první relé a připojí nabíjecí proud k akumulátoru. Tím se zabrání vybíjení akumulátoru přes vinutí dynamy.

Druhé relé má za účel zmenšovat budicí proud dynamy při zvyšujících se otáčkách. V prvním regulačním stupni se rozpojí kontakt, který spíná budicí proud z akumulátoru a tento proud se zmenší zapojením sériového odporu k budicímu vinutí. Ve druhém regulačním stupni se spojí budicí vinutí nakrátko, takže se opět sníží svorkové napětí dynamy. Regulace tedy není spojitá. Zvýší-li se např. otáčky dynamy nad hodnotu, která vyvolá napětí dynamy v oblasti meze prvního regulačního stupně, zapojí se do série s budicím vinutím odpor. Tím se zmenší proud a následkem je rychlé snížení napětí dynamy. Relé odpadá do původní polohy a celý děj se opakuje. Kotva relé během provozu trvale vibruje a regulátor je podle toho nazýván vibračním. Totéž platí o druhém regulačním stupni při podstatném zvýšení otáček. Velikost napětí akumulátoru závisí samozřejmě také na velikosti odebíraného proudu spotřebiči, takže regulace zahrnuje i tuto spotřebu.

Regulátory se vyrábějí v mnoha provedeních. Relé může být pouze jedno, častěji se však používají dvě. Existují i regulátory s větším množstvím regulačních stupňů, které mají několik relé. Zapojením a nastavováním těchto členů se nebudeme zabývat. Bližší informace najde čtenář v [29] a v popisech, které dodávají výrobci motorových vozidel.

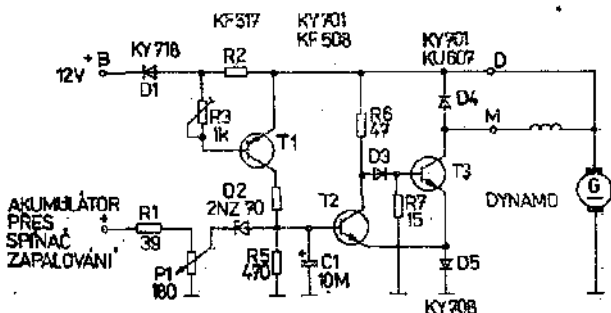
Pokud chceme použít dynamo jako nabíječ s vnějším mechanickým zdrojem energie, musíme také zajistit, aby se nemohl akumulátor vybíjet přes vinutí dynama, pokud je dynamo v klidu a aby nemohl nabíjecí proud přesáhnout určitou kritickou velikost, která by zničila akumulátor nebo vinutí dynama. Těchto vlastností lze dosáhnout také použitím vibračního-regulátoru.

Existují také regulátory, které místo mechanických členů využívají polovodičové elektronické součásti. Při současných cenách polovodičových součástek je regulátor dražší a výrobci motorových vozidel zatím podobná zařízení montují pouze výjimečně. Dalším důvodem pro jejich vzácné používání je nedůvěra v jejich spolehlivost v prostředí, kde se regulátory obvykle nacházejí, tj. v blízkosti spalovacího motoru. Také údržba takových regulátorů vyžaduje odlišnou kvalifikaci než u klasického provedení.

Hlavní předností polovodičových regulátorů je spojitost regulace a odstranění nežádoucích rušení v elektrickém rozvodu vozidla. Při správném návrhu a umístění takového regulátoru je možné s křemíkovými polovodičovými součástkami dosáhnout značně vyšší doby života než u mechanických regulátorů.

Dále si popíšeme zapojení jednoho amatérského provedení elektronického regulátoru. Podrobnosti najde Čtenář v [29].

Schéma zapojení je na obr. 47. Regulátor je určen pro automobily se záporným pólem na kostře. Na odpor R1 je připojeno napětí z aku-



Obr. 47. Elektronický regulátor dynama

mulátoru. Pokud toto napětí nepřesáhne 14 V, což je napětí správně nabitého akumulátoru pod mezí, při níž dochází k plynování akumulátoru, je tranzistor T_3 otevřen a dynamo má připojeno budicí vinutí ke kostře. Na dynamu se zvyšuje napětí s otáčkami a tímto napětím se také dynamo budí. Proud z dynama prochází přes odpor R_2 a diodu D_j do akumulátoru a do elektrického rozvodu vozidla. Jeho maximální velikost lze nastavit odporem R_3 . Jakmile úbytek napětí na odporu R_2 přesáhne napětí U_{BE} tranzistoru T_1 , začne procházet přechodem mezi bází a emitorem tohoto tranzistoru proud. Velikost tohoto proudu se omezuje odporem R_3 . Přesáhne-li proud určité hodnoty, tranzistorem T_1 prochází proud do báze tranzistoru T_2 a tento tranzistor uzavře tranzistor T_3 . Tím se odpojí budicí vinutí dynama a zmenší se jeho svorkové napětí. To má za následek zmenšení proudu do akumulátoru.

Druhou část regulátoru tvoří obvod Zenerovy diody D_2 . Jakmile napětí akumulátoru překročí 14 V, začne touto diodou procházet proud a ten způsobí otevření tranzistoru T_2 a uzavření tranzistoru T_3 . Tím se opět zmenší budicí proud dynama. Zapojení bylo navrženo pro automobil Škoda, avšak vyhoví i pro jiné automobily. Podle typu dynama se musí určit velikost odporu R_2 , popřípadě změnit polovodičové součástky.

VIII. AMATÉRSKÉ NABÍJEČE AKUMULÁTORŮ

48. Nabíječe akumulátorů s odporovým omezením proudu

Jak již bylo řečeno, musí konstrukce nabíječe vycházet z typu akumulátorů, které chceme nabíjet. Mezi nejjednodušší typy nabíječů patří nabíječe s charakteristikou W (obr. 33), u nichž je dosaženo potřebného sklonu charakteristiky odporem zařazeným do primárního nebo sekundárního obvodu transformátoru. Nabíječ se potom skládá z těchto základních dílů:

- z transformátoru,
- z odporu,
- z usměrňovače.

Zda zařadíme odpor do primárního nebo sekundárního obvodu, je z hlediska celkové funkce rovnocenné, pokaždé to však bude samozřejmě odpor jiný, jeho velikost se musí přepočítávat podle převodu transformátoru. Skutečný transformátor si však můžeme představit jako ideální transformátor s určitým sériovým odporem — ten je dán zčásti činným odporem drátu vinutí a zčásti impedancí, která vzniká ztrátami v železe a rozptylem. Některé konstrukce této vlastnosti transformátoru využívají a jednoduchý nabíječ se pak skládá pouze z transformátoru a usměrňovače.

Mezi nabíječe s odporovým omezením proudu lze zařadit i nabíječe obsahující proudově závislý odpor, např. žárovky. V dalším textu je popsáno několik typů nabíječů s odporovým omezením proudu.

Nejrozšířenějším nabíječem akumulátorů pro motorová vozidla je nabíječ s činným odporem v sekundárním obvodu transformátoru. Při návrhu nabíječe vycházíme z průběhu křivek na obr. 10, 15, 16 a 17. Graf na obr. 10 platí obecně pro každý olověný akumulátor, pouze se podle druhu akumulátoru mění hodnoty na ose x. Z grafu vyplývá, že zcela vybitý Článek akumulátoru má svorkové napětí 1,8 V, nabitý článek má napětí 2,8 V. Protože šestivoltový akumulátor má 3 články, má ve vybitém stavu svorkové napětí $3 \cdot 1,8 = 5,4$ V, v nabitém stavu

$3 \cdot 2,8 = 8,4$ V. Pro dvanáctivoltový akumulátor pak platí (má šest článků), že ve vybitém stavu má napětí 10,8 V a v nabitém stavu má napětí 16,8 V (při připojení nabíječi a při nabíjení).

Vhodný nabíjecí proud je určen velikostí a konstrukcí akumulátoru. Protože je u běžně používaných typů akumulátorů velikost desek přímo úměrná kapacitě akumulátoru, určují obvykle výrobci nabíjecí proud podle kapacity akumulátoru — nabíjecí proud bývá převážně číselně udán jednou desetinou kapacity akumulátoru. Doba nabíjení závisí na účinnosti akumulátoru a je obvykle 12,5 h. Některé nabíjecí předpisy stanoví se zřetelem na zkrácení nabíjecího cyklu v počáteční fázi nabíjecí proud větší, než je obvyklé, proud se pak během nabíjení v několika stupních zmenšuje. Pražská akumulátorka Mladá Boleslav pro své výrobky doporučuje dva nabíjecí stupně — první stupeň nabíjení končí svorkovým napětím 2,4 V na Článek a proud se volí tak, aby akumulátor slabě plynul; v druhém stupni se nabíjecí proud zmenšuje asi na polovinu.

Konkrétní údaje:

akumulátor 6N35 (12 V, 35 Ah) - 4,2 A v 1. stupni; 2,1 A ve 2. stupni;
akumulátor 6N50 (12 V, 50 Ah) - 7,4 A v 1. stupni; 3,7 A ve 2. stupni.

Pro první nabíjení (tzv. formování) se doporučuje proud menší. Nemůžeme-li dodržet při běžném nabíjení předepsané proudy, volíme vždy proudy menší. V literatuře se tvrdí a praxe to potvrzuje, že nabíjení menším proudem olověnému akumulátoru prospívá.

Podíváme-li se do přehledu nejběžnějších akumulátorů, měl by nabíječ poskytovat možnost odebírat proud v rozmezí 1 až 4 A pro dvanáctivoltový akumulátor a 1 až 6 A pro šestivoltový akumulátor. Plynulá regulace proudu by vyžadovala použití regulačního transformátoru nebo proměnný odpor. Používat tyto regulační členy není výhodné, proto je většina nabíječek konstruována tak, že umožňují přepínat proud skokem. Přepínačem se do série se sekundárním vinutím zařazuje vždy jiný odpor nebo se jím přepínají odbočky transformátoru.

Olověný akumulátor je zdrojem s velmi malým vnitřním odporem. Této skutečnosti, vedle své malé ceny, vděčí za své rozšíření, neboť je po určitou dobu schopen dávat extrémně velké proudy, potřebné především ke startování spalovacích motorů. Trvalý odběr velkého proudu však u těchto akumulátorů není možný, neboť způsobí přehřátí a popř. var elektrolytu. Malý vnitřní odpor (řádu 0,001 Ohm) klade určité, základní požadavky na nabíječku. Ten totiž nesmí být z hlediska dovoleného maximálního proudu tvrdým zdrojem napětí. Napětí nabíječky naprázdno, tj. při odpojení akumulátoru, není podstatné, neboť na nabíjeném akumulátoru se vytvoří napětí nezávislé na nabíjecím proudu, avšak závislé na stupni nabití akumulátoru. Rozdíl

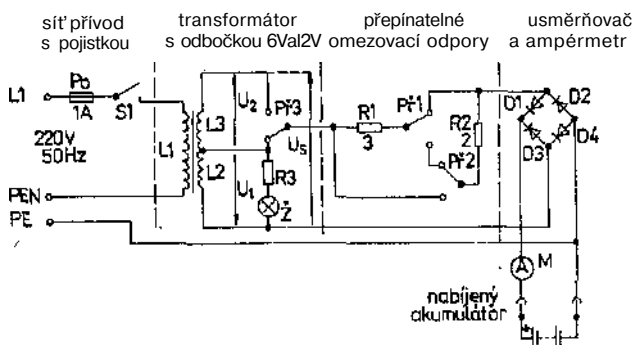
napětí naprázdno a svorkového napětí akumulátoru se objeví na srážecím odporu nabíječe. Kdybychom chtěli odvodit přesné vztahy pro výstupní proud, museli bychom znát náhradní schéma transformátoru, zahrnující jeho vnitřní odpory. Vnitřní odpor transformátoru lze nejvýhodněji určit měřením na zatíženém a nezatíženém transformátoru. Změříme-li např. napětí na nezatíženém transformátoru (U_n) a napětí zatíženého transformátoru (U_m) — transformátor je zatížen maximálním proudem, používaným k nabíjení (I_{max}) — potom velikost vnitřního odporu transformátoru je dána vztahem

$$R_v = \frac{U_n - U_m}{I_{max}}$$

Tento odpor si můžeme představit jako odpor (ve skutečnosti impedance), zapojený do série se sekundárním vinutím ideálního transformátoru s převodem rovným poměru primárního napětí a napětí U_n . Při návrhu nabíječe obvykle odečítáme vnitřní odpor transformátoru od potřebného předřadného odporu,

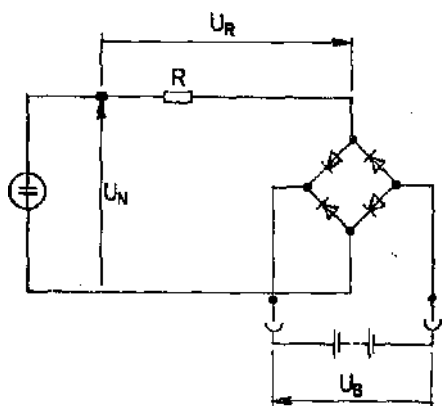
49. Nabíječ akumulátorů s odporovým omezením proudu

Schéma jednoduchého nabíječe akumulátoru s odporovým omezením je na obr. 48. Na obr. 49 je zjednodušené schéma téhož nabíječe. Primární vinutí transformátoru je připojeno k síti přes ochrannou trubčkovou pojistku. Nesmíme zapomenout na řádné zemnění nabíječe ochranným vodičem. Sekundární cívka transformátoru má dvě vinutí



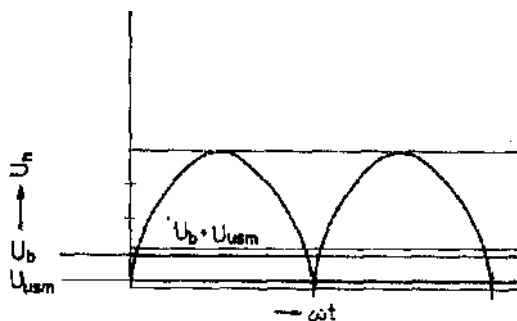
Obr. 48. Jednoduchý nabíječ akumulátoru s odporovým omezením

L3 a L2, která se při nabíjení dvanáctivoltového akumulátoru spínají do série přepínačem Př₃. Nabíjí-li se šestivoltový akumulátor, pracuje pouze vinutí L2. Jak pro nabíjení dvanáctivoltového akumulátoru, tak pro šestivoltový akumulátor lze řadit do série s vinutím čtyři odpory. Všechny možné kombinace lze volit přepínáním páčkových přepínačů



Obr. 49. Zjednodušené schéma nabíječe akumulátoru s odporovým omezením

Př1 a Př2. Každý z přepínačů má dvě různé polohy, takže máme 4 kombinace složené z jejich možných poloh přepnutí. V jedné ze čtyř poloh jsou odpory spojeny v sérii, ve druhé poloze je zapojen pouze větší z odporů, v další poloze pouze menší z odporů a v poslední poloze jsou oba odpory paralelně. Tím se postupně zvětšuje proud do akumulátoru. Páčkové přepínače musí být konstruovány na největší nabíjecí proud. Nabíjecí proud lze kontrolovat měřidlem M. Nejvhodnější je použít ampérmetr s rozsahem 10 A. Střídavé sekundární na-



Obr. 50. Napěťové poměry při nabíjení

pěti se usměrňuje můstkovým usměrňovačem. Předpokládejme, že přepínač Př3 je v poloze A. Na výstupu nabíječe je připojen dvanáctivoltový akumulátor. Na přepínači Př₃ je sekundární napětí transformátoru, v tomto případě asi 19,5 V. Pro jednoduchost předpokládejme, že se toto napětí po průchodu dvěma sériově zapojenými diodami zmenší o 1,5 V, dále proto budeme počítat pouze se sekundárním napětím 18 V. Skutečné poměry v nabíječi jsou zřejmé z obr. 50. Dvojnásobně usměrněné napětí má průběh, znázorněný dvěma půlperiodami. Efektivní velikost tohoto napětí je měřena při odpojení, akumulátoru, tj. při chodu nabíječe naprázdno. Křivka U_b značí svorkové napětí akumulátoru. Po připojení akumulátoru k nabíječi prochází do akumulátoru proud až tehdy, bude-li napětí U_T větší než součet napětí $U_b + U_{usm}$.

Velikost proudu bude dána efektivním napětím vrchlíků nad přímkou $U_b + U_{usm}$ a omezovacím odporem.

Nyní tedy potřebujeme zjistit omezovací odpor R , nebo popřípadě oba odpory podle obr. 48 (R_1 , R_2). Je-li napětí na sekundárním vinutí transformátoru mnohem větší než svorkové napětí akumulátoru, je výpočet velmi jednoduchý. Platí přibližně, že

$$R = \frac{U_s - (U_i + U_{usm})}{I}$$

kde U_s je efektivní velikost sekundárního napětí (nebo napětí sítě),

U_i napětí na svorkách, nabíjeného akumulátoru,

U_{usm} úbytek napětí na usměrňovacích diodách a

I požadovaný nabíjecí proud.

Tento výpočet platí velmi přesně např. při nabíjení niklokadmiových malých uzavřených článků malým proudem přímo ze sítě. U akumulátorů s větší kapacitou, u nichž je třeba nabíjecí proud několik ampérů, je třeba volit (vzhledem k velkým ztrátám na omezovacích odporech), napětí U_T tak, aby se téměř rovnalo napětí U_b . Pak je výpočet obvodu relativně složitý, neboť (jak plyne z obr. 50) prochází proud do akumulátoru i tehdy, je-li efektivní napětí U_T stejné nebo i menší než napětí U_b .

Vhodným konstrukčním postupem je odhadnout omezovací odpor a jeho velikost pak upravit podle skutečně zjištěných údajů (nabíjecí proud do vybitého i nabitého akumulátoru).

Pro nabíječ na obr. 48 byly zvoleny odpory R_1 (2 Ohm/20 W) a R_2 (3 Ohm/30 W). S těmito odpory lze v jednotlivých polohách přepínačů nastavit přibližně tyto proudy:

poloha přepínačů	1	2	3	4
vybitý akumulátor	1,5 A	2 A	3,2 A	4,5 A
nabitý akumulátor	0,8 A	1,4 A	2,3 A	2,8 A

Odpory jsou drátové, navinuté na keramice nebo samonosné. Protože podobné odpory nejsou na trhu, musíme je zhotovit sami. Na vhodný keramický váleček přiměřené velikosti navineme drát z konstantanu, manganinu nebo chromniklu o průměru minimálně 0,6 mm. Musíme zvolit drát dostatečné tloušťky, aby se nepřetavil, popř. neuvolnil na tělísku. Konkrétní volba závisí na velikosti a tvaru keramického tělíska a na způsobu chlazení.

Při známém materiálu odporového drátu vypočítáme jeho délku ze vztahu

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ z čehož } l = \frac{RS}{\rho}$$

kde R je požadovaný odpor [Ohm],

ρ měrný elektrický odpor materiálu odporového drátu [Ohm meter],

S průřez odporového drátu [m^2],

l hledaná délka drátu [m].

Přitom měrný elektrický odpor ρ konstantanu je $0,5 \cdot 10^{-6}$ Ohm meter, manganinu $0,43 \cdot 10^{-6}$ Ohm meter a chromniklu (cekasu) $1,1 \cdot 10^{-6}$ Ohm meter.

Odpor R [Ohm] drátu délky jednoho metru při různých průměrech drátu je:

průměr drátu [mm]	konstantan	manganin	chromnikl
0,6	1,76	1,52	3,89
0,8	0,99	0,85	2,18
1	0,63	0,54	1,40
1,2	0,44	0,38	0,97
1,5	0,28	0,24	0,62

Transformátor Tr je navinut na jádru z plechů EI 40X40 mm, vinutí $L1$ (230/120 V) má 640/350 závitů drátu o průměru 0,6/0,85 mm CuL, vinutí $L2$ (14 V) má 56 závitů drátu o průměru 1,7 mm CuL a vinutí $L3$ (5,5 V) má 19 závitů drátu o průměru 1,6 mm CuL.

Zapnutí nabíječe indukuje žárovka 12 V/50 mA, zapojená v sérii s odporem $R3 = 33 \text{ Ohm}$ k vinutí $L2$.

Jako usměrňovací diody se používají diody typu KY 708 (D1 až D4), které mají dovolený proud v propustném směru 10 A. Tyto diody je třeba umístit na tři chladiče, neboť pouze dvě z nich mají v můstkovém usměrňovači společnou část s upínacím šroubem. Na diodách je při maximálním proudu nabíječe výkonová ztráta asi 8 W. Tato ztráta

se rovnoměrně rozloží na všechny diody, takže chladiče nemusí být příliš robustní. Pro samostatně umístěné diody vyhoví chladičí plocha chladiče asi 50 cm^2 a pro dvojici diod 100 cm^2 . Chladiče je nejvýhodnější zhotovit z hliníku tloušťky asi 2 mm.

Proud měříme ampérmetrem. Pokud ampérmetr z úsporných důvodů nepoužijeme, a budeme-li měřit proud vnějším měřidlem (univerzální měřicí přístroj), upozorňujeme na to, že některé univerzální přístroje (např. DU 5, DU 10, DU 20) nesnášejí trvalé maximální proudové zatížení, neboť bočníky těchto přístrojů nejsou pro trvalou zátěž dimenzovány.

Mechanickou konstrukci nabíječky volíme tak, aby součástky vyzařující teplo měly kolem sebe dostatek prostoru. Zejména jde o odpory $R1$ a $R2$. Odpory je třeba umístit co nejvýše od šasi a co nejdále od usměrňovacích diod, ampérmetru i transformátoru. Celou skříňku volíme dostatečně prostornou s dostatkem větracích otvorů. Všechny spoje na sekundární straně transformátoru děláme zásadně co nejtlustším měděným vodičem nebo lankem. Výstupní svorky označíme značky + a -, popř. je rozlišíme i barevně; bývá zvykem označovat kladný pól červeně a záporný modře. Jednoduše tak předejdeme zbytečným omylům, které mohou způsobit poškození jak akumulátoru tak nabíječe.

Nyní uvedeme některé možné varianty řešení nabíječe.

a) Proud lze volit tak, že přepínáme odbočky na transformátoru (čímž měníme napětí U). Odbočky lze vytvářet na sekundární straně i na primárním vinutí. Potom vystačíme např. jen s jedním sériovým odporem. Použitý přepínač nesmí při přepínání zkratovat sousední odbočky vinutí, neboť velké zkratové proudy by nejen mohly poškodit vinutí, ale i rychle opálit kontakty přepínače.

b) Omezovací odpor lze zapojit do primárního obvodu transformátoru nebo do sekundárního obvodu, ale v tomto případě musí být umístěn až za usměrňovačem.

Bude-li odpor v sérii s primárním vinutím transformátoru, musíme přepočítat odpor, vypočítaný pro zapojení v sérii se sekundárním vinutím, a to takto:

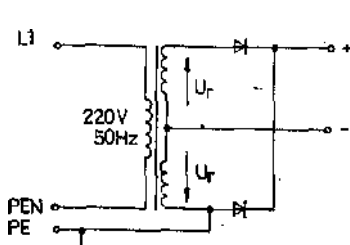
$$R_{\text{prim}} = R_{\text{sek}} \frac{U_{\text{prim}}}{U_{\text{sek}}} = R_{\text{sek}} p$$

kde p je převod transformátoru,

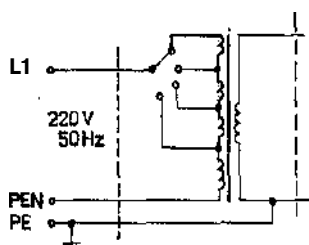
U_{prim} a U_{sek} je napětí na vinutích nezatíženého transformátoru. Při výpočtu se nepřihlíží k vlastnímu odporu transformátoru, uvedený vztah však k návrhu vyhoví s dostatečnou přesností,

Vypočítaný odpor na primární straně transformátoru má obvykle takovou velikost, že ho lze vybrat z běžně vyráběných odporů a není ho třeba zhotovovat amatérsky.

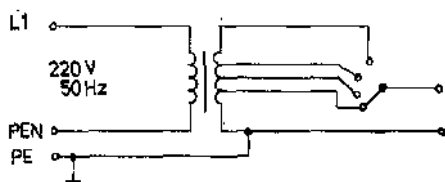
c) Transformátor lze navinout tak, že vystačíme s dvojcestným usměrněním, tzn. že ušetříme dvě usměrňovací diody. Obě části sekundárního vinutí musí mít shodné napětí a shodný odpor, aby se jejich celkové zatížení rovnoměrně rozdělilo. Zapojení je na obr. 51. Použijeme-li transformátor s odbočkami, je konstrukčně výhodnější udělat odbočky na primární straně transformátoru (obr. 52) než na sekundární (obr. 53). Při návrhu transformátoru podle obr. 51 stačí dimenzovat drát sekundárního vinutí na poloviční proud, neboť každou část vinutí prochází proud pouze v jedné půlperiodě.



Obr. 51. Dvojcestné usměrnění



Obr. 52. Transformátor s přepínatelnými odbočkami na primárním vinutí



Obr. 53. Transformátor s přepínatelnými odbočkami na sekundárním vinutí

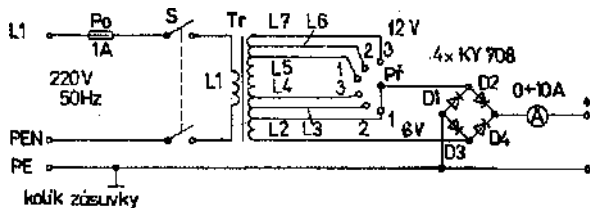
d) Místo sériového odporu lze použít žárovku. Výhodou při tomto uspořádání je, že se odpor vlákna žárovky mění v závislosti na procházejícím proudu. Vláknko žárovky mění svůj odpor ve značném rozmezí a výsledná charakteristika nabíječe změni svůj tvar. Nabíječ se pak chová spíše jako zdroj proudu a rozdíl mezi proudem do vybitého a nabitého akumulátoru se zmenší. Současně se zmenší závislost nabíjecího proudu na kolísání napětí sítě a lze opticky kontrolovat správnou činnost nabíječe. Ze svitu žárovky lze po získání určité zkušenosti usuzovat i na stav nabití akumulátoru.

Nabíječe s odporovým omezením mají své nesporné přednosti. Jsou jednoduché, levné, a protože obsahují malý počet součástek, jsou i spolehlivé. Nabíjecí křivka je také příznivá. Mají však i nevýhody — kromě nesnadné realizace spojitě regulace proudu je podstatnou nevýhodou skutečnost, že rozdíl napětí transformátoru a nabíjeného akumulátoru se mění v teplo, které se bez užitku vyzáří do okolí. U nabíječů velkých akumulátorů nebo akumulátorových baterií je tato nevýhoda již podstatná, neboť ztráta v odporech se zvětšuje s druhou mocninou proudu

$$P = I^2 R \text{ [W; A. } \Omega\text{]}.$$

50. Nabíječ akumulátorů bez vnějších odporů

Jak již bylo uvedeno, lze realizovat nabíječ, který využívá odporů obou vinutí a vnitřních ztrát v akumulátoru k omezení nabíjecího proudu. Schéma nabíječe je na obr. 54. Vinutí transformátoru má tři odbočky pro šestivoltový akumulátor a tři odbočky pro dvanáctivoltový akumulátor.



Obr. 54. Nabíječ bez vnějších odporů

Transformátor

Transformátor je na jádru z plechů EI 40X40 mm, primární vinutí L₁ má 630 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL. Sekundární vinutí L₂ má 19 závitů, vinutí L₃ má 3 závity, vinutí L₄ má 3 závity, vinutí L₅ má 13 závitů, vinutí L₆ má 6 závitů, vinutí L₇ má 6 závitů, všechny drátem o průměru 2 mm CuL. Činný odpor primárního vinutí je asi 12 Ohm. Činný odpor odboček sekundárního vinutí je asi 30 až 80 mOhm. K těmto odporům je třeba přičíst dynamický odpor usměrňovacího můstku a vnitřní odpory transformátoru. Celkový odpor na výstupu nabíječe je tedy asi 1 Ohm a závisí na odbočce sekundárního vinutí, která je právě zvolena přepínačem Př. Proud, který prochází do aku-

mulátoru, závisí značně na stupni vybití akumulátoru. Proto je nezbytné vybavit nabíječ ampérmetrem. Odpor bočníku ampérmetru může také ovlivnit nabíjecí proud.

Následující údaje jsou charakteristické pro nabíjení vybitého akumulátoru tímto nabíječem.

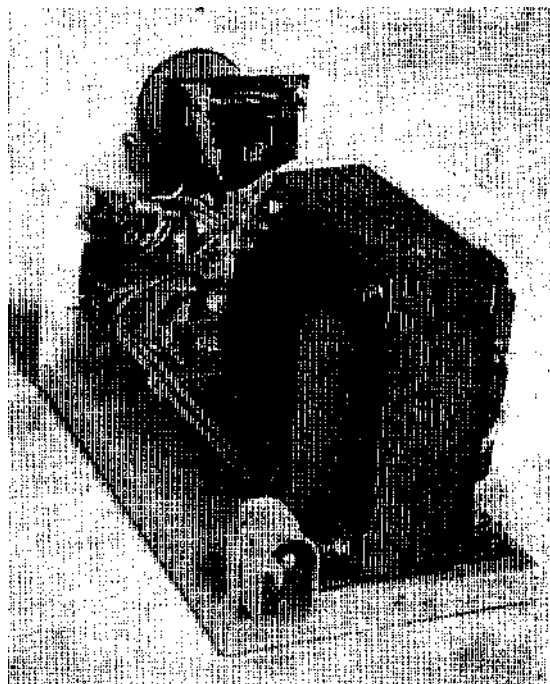
odbočka šestivoltový

- | | |
|----|------|
| 1. | 0,5A |
| 2. | 2 A |
| 3. | 3 A |

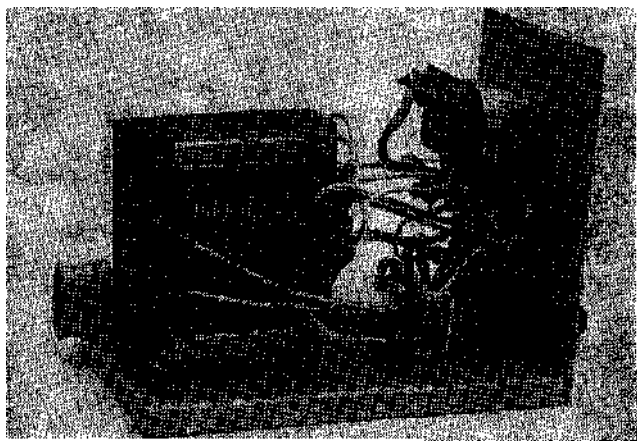
dvanáctivoltový akumulátor

- | |
|----|
| 2A |
| 3A |
| 5A |

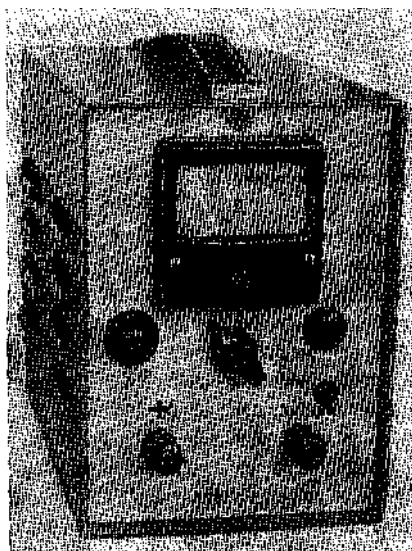
Provedení nabíječe je zřejmé z obr. 55 a 56 a vnější uspořádání z obr. 57. Přepínačem nesmíme zkratovat během přepínání jednotlivé části vinutí (viz popis předchozího nabíječe).



Obr. 55. Konstrukce nabíječe bez vnějších odporů



Obr. 66. Vnitřní uspořádání nabíječe bez vnějších odporů

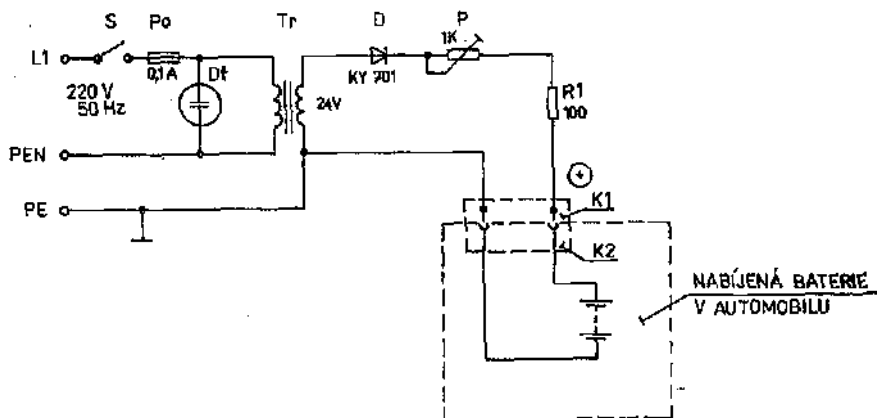


Obr. 67. Vnější provedení nabíječe bez vnějších odporů

51. Vyrovnávací nabíječ pro akumulátor v automobilu

Jak již bylo uvedeno v kap. 30, dochází u olověného akumulátoru k samovolnému vybíjení. Dlouho skladovaný akumulátor se doporučuje připojovat trvale ke zdroji malého proudu, který toto samovolné vybíjení vyrovnává. Prodlužuje se tím doba života akumulátoru a zároveň se vylučuje možnost, že na akumulátor zapomeneme a necháme ho zcela vybit. Kdykoliv ho pak potřebujeme, je připraven k použití.

Jedno z nejjednodušších zapojení je na obr. 58. Vyrovnávací dobíječ využije motorista, který se svým automobilem jezdí nepravidelně a má garáž s přívodem elektrického proudu. Trvalé dobíjení na parkovišti nebo venku není z bezpečnostních důvodů vhodné.



Obr. 68. Vyrovnávací nabíječ

Nikdy, ačkoliv je to technicky jednoduché a lákavé, nedobíjíme přímo ze sítě. Použijeme oddělovací a převodový transformátor, v tomto případě 220 V/24, jehož sekundární napětí je od sítě oddělené a nemůže dojít k úrazu elektrickým proudem. Pro usměrnění a omezení proudu postačí jedna dioda a potenciometr P. Abychom dráhu potenciometru neporušili v okamžiku, kdy jej vytočíme ke straně s nejmenším odporem a začne procházet velký proud, je ještě v sérii s potenciometrem odpor $R1$.

Máme-li např. akumulátor 12 V/35 Ah (typ používaný u vozidla ŠKODA MB), doporučujeme nastavit trvalý dobíjecí proud na 20 mA. U staršího akumulátoru můžeme nastavit až dvojnásobek tohoto proudu. Pro pohodlnou obsluhu je nejvhodnější umístit v zadní části

automobilu konektor K_2 . Vidlice K_1 je na připojovací šňůře upevněna takovým způsobem, že se sama rozpojí, když na zapnutý nabíječ zapomeneme a s vozem vyjedeme.

Rozpisku součástek neuvádíme. Vyhoví téměř každý transformátor a libovolná dioda (např. KA 502). Potenciometr je nevhodnější drátový, popřípadě lze odpor změřit a nahradit pevným odporem.

52. Nabíječ akumulátorů s omezením nabíjecího proudu žárovkou

Použijeme-li obvod nabíječe s odporovým omezením proudu, který je schematicky znázorněn na obr. 49, platí pro toto zapojení vztahy

$$I = \frac{U_N - U_B}{R}$$

z čehož $U_B = U_N - RI$.

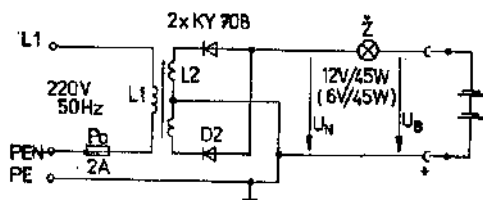
Tato rovnice charakterizuje nabíječ, u něhož je závislost mezi napětím akumulátoru U a nabíjecím proudem I vyjádřena křivkou W (obr. 33).

Měříme-li charakteristiku žárovky, tj. závislost mezi napájecím napětím a proudem, zjistíme, že tato charakteristika není lineární jako např. u činného odporu, ale že se zvětšujícím napětím odpor vlákna zvětšuje. Tento jev je vyvolán změnou teploty vlákna.

Charakteristiky několika typických automobilových žárovek jsou na obr. 62. Údaje, z nichž byly charakteristiky sestrojeny, jsou číselně uvedeny v tab. 15. Zaměníme-li tedy odpor R v obvodu podle obr. 49 za žárovku, změní se tvar charakteristiky nabíječe z W na G (obr. 63).

Tabulka 15. Závislost mezi napětím a proudem různých typů žárovek

Typ žárovky	12 V 5 W	12 V 45 W	6 V 5 W	6 V 15 W	6 V 45 W
$U[V]$	$I[A]$	$I[A]$	$I[A]$	$I[A]$	$I[A]$
2	0,14	1,44	0,37	1,05	3,1
4	0,21	1,92	0,56	1,6	5,1
6	0,28	2,4	0,7	2,1	6,2
S	0,32	2,9	0,82	2,6	7,6
10	0,37	3,25			
12	0,41	3,7			
14	0,46	4,1			



Obr. 59. Schéma nabíječe se žárovkou



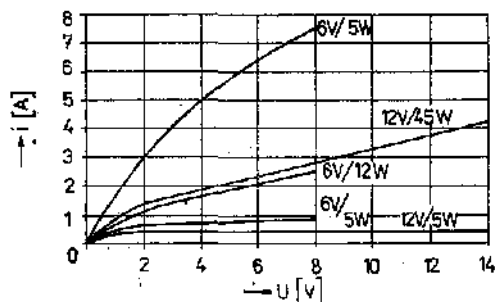
Obr. 60. Vnější provedení nabíječe se žárovkou



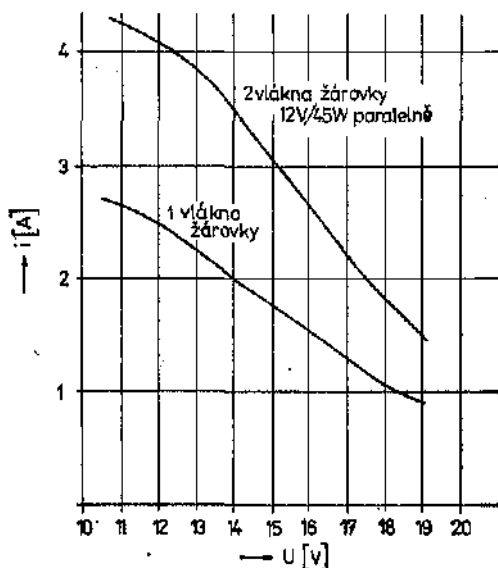
Obr. 61. Vnitřní mechanické uspořádání nabíječe se žárovkou

Stabilizace proudu žárovkou má některé přednosti, většinu jichž jsme si již uvedli. Zdůrazněme zde však znovu, že tím, že se zmenší závislost nabíjecího proudu na rozdílu napětí nabíječe a akumulátoru, zmenší se také závislost tohoto proudu na kolísání síťového napětí.

Na obr. 59 je schéma žárovkového nabíječe akumulátorů. Z obr. 60 a 61 je zřejmé mechanické uspořádání nabíječe. Detaily nabíječe jsou



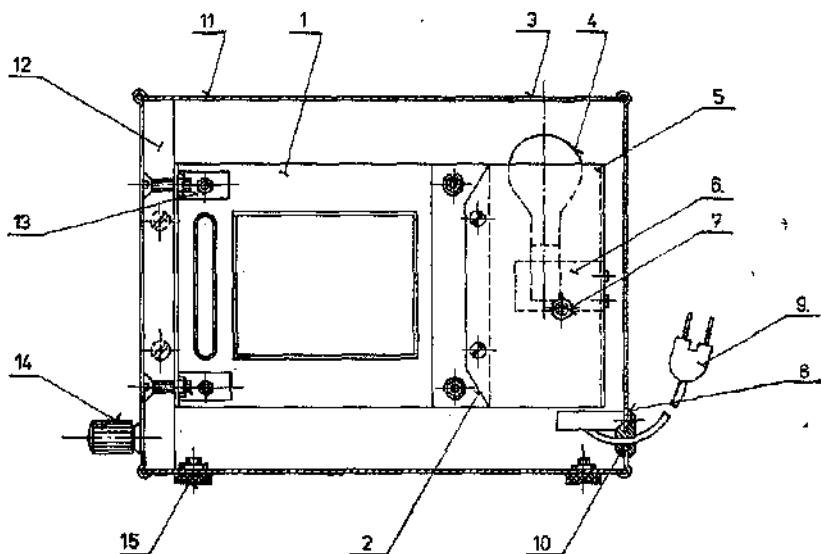
Obr. 62. Charakteristiky jednotlivých typů žárovek



Obr. 63. Zatěžovací voltampérová charakteristika nabíječe se žárovkou

na obr. 64 a 65. Protože požadavkem bylo, aby konstrukce byla po mechanické stránce co nejjednodušší, byl použit ke zhotovení krytu nabíječe snadno dostupný obal od běžně prodávaných olejů. Jde o plechovku s obsahem tří litry a s vnitřními rozměry 106X156X192 mm. U plechovky je třeba pouze odstranit vrchní víko s uzavěrem.

Jednotlivé díly nabíječe (tj. transformátor, usměrňovač, žárovka a připojovací zdíčky) jsou upevněny na čelní desce, zhotovené z pertinaxu nebo novotexu tloušťky 10 mm. Na zadní části transformátoru je upevněn chladič usměrňovacích diod a na něm je v izolačním držáku připevněna žárovka. Žárovka je z důvodů spolehlivosti při-

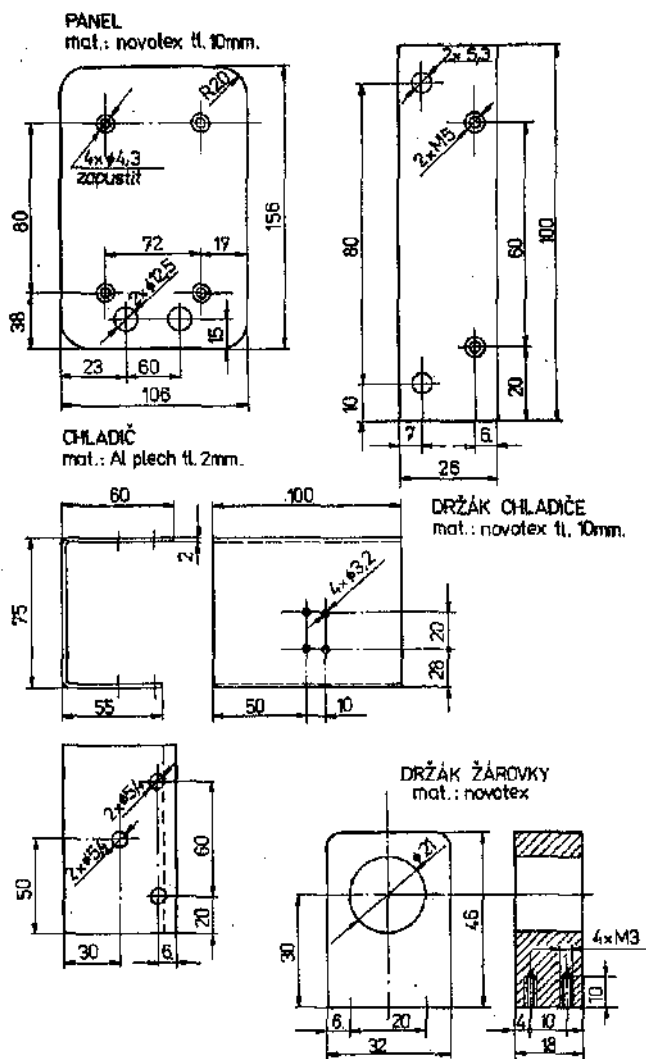


Obr. 64. Rozložení jednotlivých dílů nabíječe. 1 — transformátor, 2 — držák chladiče, 3 — větrací otvor, 4 — žárovka 12 V/45 W (6 V/46 W), 5 — chladič, 6 — držák žárovky, 7 — 2krát KY 708, 8 — držák pojistky, 9 — trojžilová přívodní šňůra, 10 — pryžová průchodka, 11 — kryt, 12 — panel, 13 — připevňovací úhelníky transformátoru, 14 — 2krát šroubovací zdířka, 15 — 4krát pryžová zátka

pojena do obvodu připojením. Objímka se nepoužívá také proto, že doba života žárovky, která v tomto zapojení pracuje s menším napětím, než je její jmenovité napětí, je mnohonásobně delší než za běžného provozu. Aby se uvnitř nabíječe nahromadilo teplo, je vhodné opatřit plechový kryt větracími otvory. Žárovku umístíme do blízkosti větracího otvoru v horní části krytu tak, abychom mohli pohodlně sledovat její vlákno. Jako žárovku lze použít i žárovku ze světlometu, která má jedno z vláken přerušené.

Přední panel je upevněn ke krytu a dno krytu (plechovky) je opatřeno pryžovými zátkami, sloužícími jako nožky nabíječe.

Transformátor je složen z plechů EI 40X40 mm. Primární vinutí (220 V) má 630 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL; sekundární vinutí má pro nabíjení šestivoltového akumulátoru dvakrát 29 závitů drátu o průměru 1,6 mm CuL, pro dvanáctivoltový akumulátor dvakrát 56 závitů drátu o průměru 1,4 mm CuL. Izolace mezi primárním



Obr. 65. Mechanické díly nabíječe se žárovkou

vinutím a sekundárním vinutím je zkoušena na napětí 3,5 kV. Pro jednoduchost nebyl použit síťový spínač. Nabíječ se připojuje k síti zastrčením přírodní šňůry do síťové zásuvky.

Na obr. 63 je charakteristika nabíječe v úpravě pro nabíjení dvanařivoltového akumulátoru. Z charakteristiky je zřejmé, že zcela vybitým akumulátorem prochází proud asi 4,5 A (2,8 A); tento proud se během nabíjení zmenšuje až asi na 2,8 A (1,5 A). Je-li třeba upravit nabíjecí proud (vzhledem k akumulátoru, který chceme nabíjet), lze charakteristiku nabíječe upravit v zásadě dvěma způsoby: změnou sekundárního napětí transformátoru. použitím žárovky jiného typu.

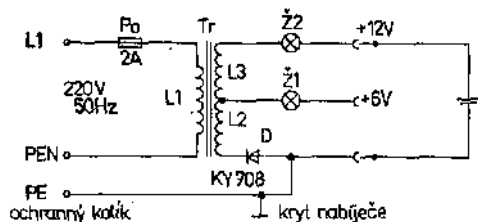
Je zřejmé, že je třeba při změně odebíraného proudu změnit i průměr drátů a volit jiné jádro transformátoru.

Při prvním způsobu úpravy, tj. při změně napětí sekundárního vinutí, se mění charakteristika nabíječe tak, že se pouze lineárně posune.

Chceme-li zmenšit nabíjecí proud, stačí zmenšit napětí sekundárního vinutí odvinutím příslušného počtu závitů. Kdybychom však zmenšili napětí sekundárního vinutí pod určitou mez, hrozí nebezpečí, že nabíječ nebude schopen nabít akumulátor na plnou kapacitu, neboť po dosažení určitého svorkového napětí akumulátoru přestane procházet proud z nabíječe do akumulátoru,

Druhý způsob, tj. změna typu žárovky, upraví charakteristiku jiným způsobem. Použijeme-li např. místo žárovky 12 V/45 W žárovku 12 V/30 W, nebo zapojíme-li místo žárovky 12 V/45 W dvě paralelně spojené žárovky 12 V/15 W, zmenší se nabíjecí proud asi o jednu třetinu.

Nabíječ se žárovkou můžeme také upravit podle obr. 66. Přístroj bude nyní vyhovovat jak pro šestivoltový akumulátor, tak pro dvanařivoltový akumulátor. V panelu bude další zdířka a uvnitř nabíječe budou dvě žárovky. Usměrnění bude jednocestné, a bude tedy třeba zvětšit průměr použitých drátů (L2 navineme drátem průměru 2,3 mm-L3 drátem průměru 2 mm).



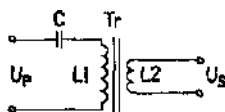
Obr. 66. Upravený nabíječ se žárovkou

ochranný kolík

53. Nabíječ akumulátorů s kondenzátorem

Připojíme-li do série s primárním vinutím transformátoru kondenzátor, upraví impedance tohoto kondenzátoru charakter závislosti výstupního proudu a napětí nabíječe. Ze zapojení na obr. 67 získáme zdroj s velkým vnitřním odporem, tedy zdroj, jehož charakteristika se

Obr. 67. Úprava nabíjecí charakteristiky nabíječe kondenzátorem zapojeným v sérii s primárním vinutím transformátoru



v určité oblasti podobá charakteristice tvaru I (obr. 32). Pro sinusový průběh (použijeme-li k usměrnění můstkový usměrňovač) platí pro výpočet kapacity kondenzátoru vztah

$$C = \frac{I_{0s}}{\omega p U_p} \quad [\text{F}; \text{A}, \text{s}^{-1}, \text{---}, \text{V}]$$

kde I_{0s} je požadovaný zkratový proud na sekundární straně transformátoru,

$\omega = 2\pi f$ úhlový kmitočet sítě,

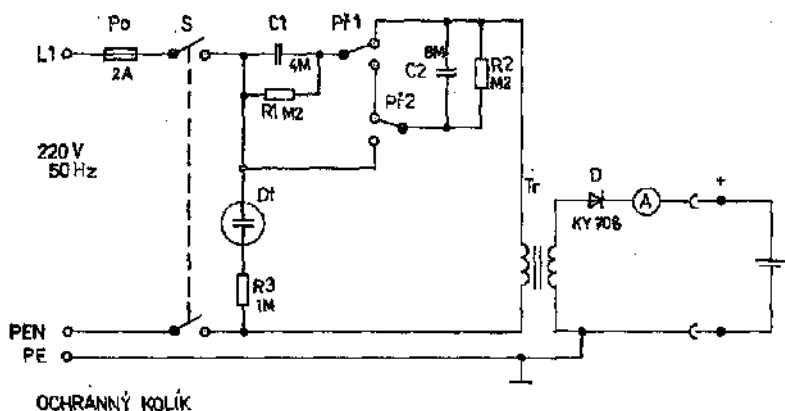
U_p napětí na primární straně transformátoru (220 V),

p převod transformátoru.

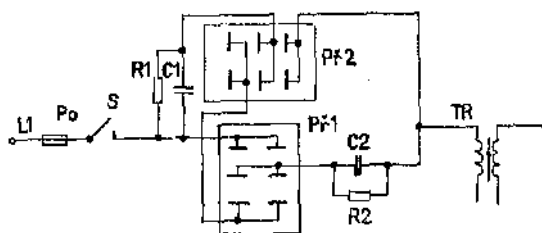
Při skutečném provozu nabíječe se proud do akumulátoru mírně liší od zkratového proudu (vstupní indukčnost transformátoru, nelineární závislost mezi magnetickou indukcí a intenzitou magnetického pole apod.). Přesto lze uvedený vztah pro orientaci použít.

Jako výhodnější se u tohoto druhu nabíječe jeví použít jednocestné usměrnění. Průběh odebíraného proudu není sinusový, jádro transformátoru se stejnosměrně magnetizuje a více se uplatní rezonance v oblasti, kdy není transformátor zatížen. Při stejném transformátoru a stejném požadovaném výstupním proudu nabíječe stačí použít (podle vlastností transformátoru) kondenzátor s téměř poloviční kapacitou

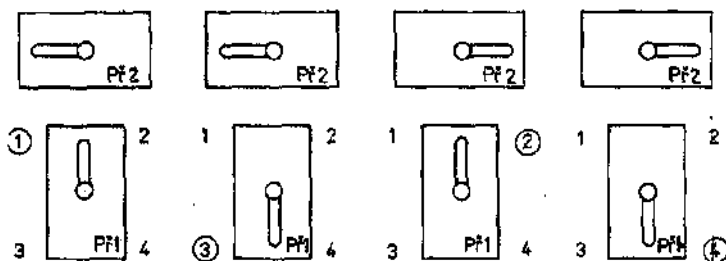
Na obr. 68 je schéma skutečného provedení nabíječe. Jsou použity dva kondenzátory, jejichž kapacita je v poměru 1 : 2. Kondenzátory se přepínají tak, že v první poloze přepínačů (tj. v poloze odpovídající nejmenšímu nabíjecímu proudu) jsou oba kondenzátory zapojeny do série a jejich výsledná kapacita je tedy nejmenší. V další poloze přepínačů je zapojen do obvodu pouze kondenzátor s menší kapacitou, dále se připojí pouze kondenzátor s větší kapacitou a konečně jsou oba kondenzátory spojeny paralelně (celková kapacita je největší).



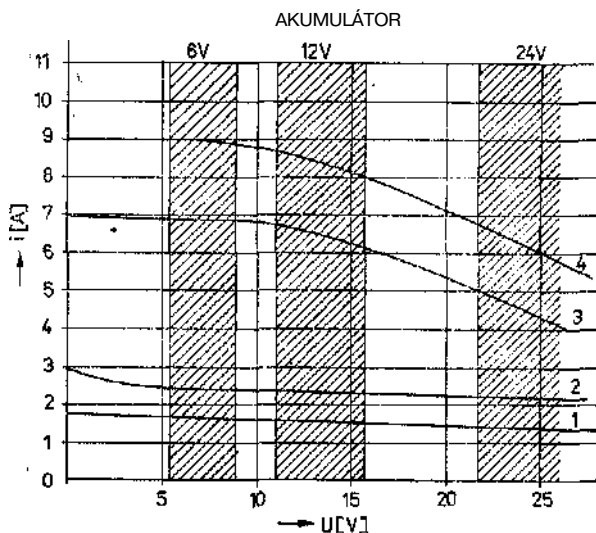
Obr. 68. Nabíječ akumulátorů s kondenzátory



a)



Obr. 69. Umístění a provedení kontaktů přepínačů nabíječe s kondenzátory, a) pohled ze strany kontaktů s drátovým propojením; b) pohled ze strany panelu na polohy páček přepínačů se čtyřmi možnými variantami přepnutí



Obr. 70. Voltampérová charakteristika nabíječe s kondenzátory pro jednotlivé polohy páček přepínačů

K přepínání jsou použity dva páčkové přepínače. Jednotlivé polohy, umístění a připojení přepínačů je zřejmé z obr. 69. Čtyři výsledné proudové charakteristiky, odpovídající jednotlivým polohám přepínačů, lze zjistit z obr. 70.

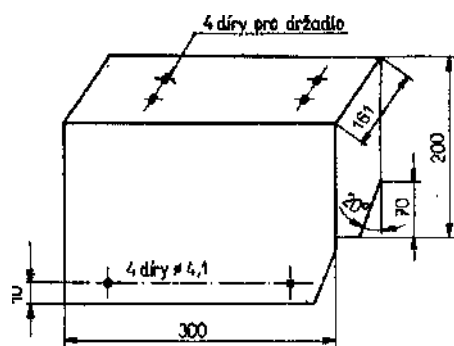
Kondenzátory C1 a C2 musí být dimenzovány alespoň na 1000 V, v žádném případě nesmějí být elektrolytické! Není-li totiž k nabíjení připojen nabíjený akumulátor, je na kondenzátorech vlivem sériové rezonance (připojený kondenzátor a indukčnost primárního vinutí transformátoru) napětí až asi 700 V. Kromě toho jsou kondenzátory namáhány procházejícím střídavým proudem. Primární vinutí transformátoru je třeba dokonale izolovat od sekundárního, neboť napětové namáhání transformátoru je téměř třikrát větší než u běžně zapojeného síťového transformátoru.

Odpory R_1 a R_2 jsou vybíjecí odpory. Ty je třeba dimenzovat minimálně na napětí 700 V.

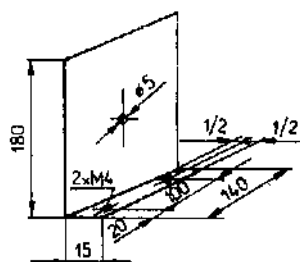
Vystačíme-li s jedním nabíjecím proudem, lze použít pouze jeden kondenzátor a vypustit přepínače.

Kondenzátor a transformátor tvoří sériový rezonanční obvod. Proto nedoporučujeme ponechávat nabíječ připojený k síti, není-li na výstupu připojen nabíjený akumulátor. Někdy se může nabíjecí proud přerušit nedokonalým stykem vývodů nabíječe a připojovacích svorek

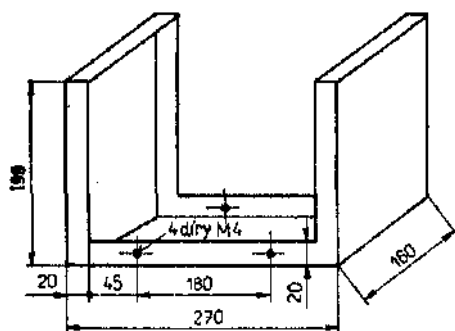
akumulátoru. Proto je vždy třeba řádně očistit vývody akumulátoru a svorky nabíječe. Nabíječ je vhodné doplnit měřidlem nebo alespoň indikátorem správné činnosti (je popsán dále).



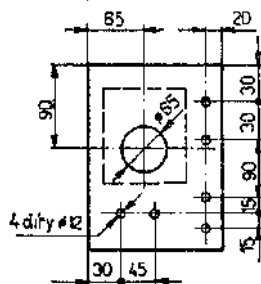
PLÁŠT, MAT.: Fe tl.1mm



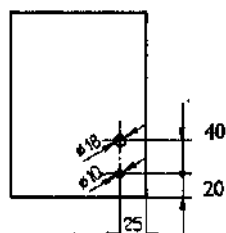
CHLADIČ PRO DIODU, MAT.: Al tl.2mm



ZÁKLADNÍ ŠASI, MAT.: Fe tl.1mm
Rohy a spoje naměkko pájeny a broušeny,
závity M4 použity.



PŘEDNÍ STĚNA ŠASI



ZADNÍ STĚNA ŠASI

Obr. 71. Mechanické díly nabíječe s kondenzátory

Poznámky ke konstrukci

Mechanické uspořádání a rozložení součástek je zřejmé z obr. 71 až 73. Pro bezpečnost obsluhy je třeba propojit kostru nabíječe s ochranným kolíkem (zemnicím kolíkem) zásuvky. S kostrou je vhodné spojit i jednu z výstupních svorek, obvykle „zápornou“. Dále je třeba dbát, aby primární obvod nabíječe (až po transformátor) byl bezpečně vzdálen od všech míst možného dotyku, popřípadě i od větracích děr. Chladič diody je nutno izolovat od kostry.

Použité součástky

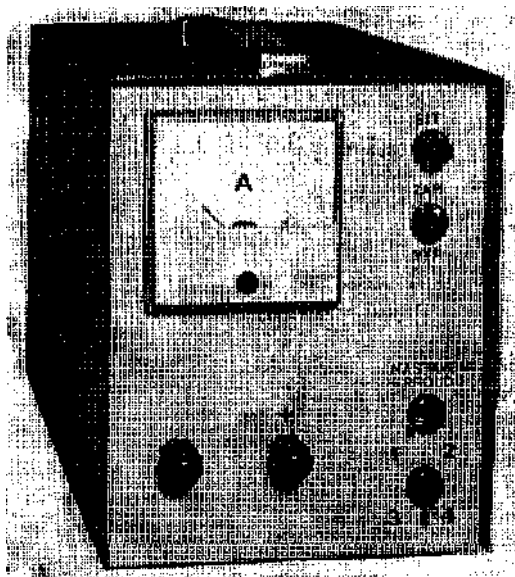
Transformátor

Tr plechy EI40x40, primární vinutí (220 V) 640 závitů drátu o průměru 0,7 mm CuL, sekundární vinutí (27 V) 90 závitů drátu o průměru 2 mm CuL.

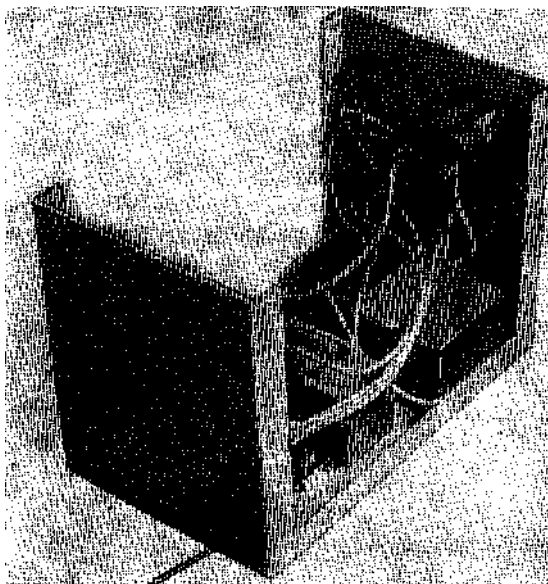
Přepínače, spínač

Př₁, Př₂ přepínač páčkový (4166 224 nebo 4166 218)

S síťový spínač



Obr. 72. Vnější provedení nabíječe s kondenzátory



Obr. 73. Vnitřní uspořádání nabíječe s kondenzátory

Odpory

R_1, R_2 odpor vrstvý TR 103, 0,2 MOhm

R_3 odpor vrstvý TR 115, 1 MOhm

Kondenzátory

C_1 kondenzátor krabicový, TC 667, 4 $\mu\text{F}/1000\text{ V}$

C_2 kondenzátor krabicový, TC 667, 8 ($\mu\text{F}/1000\text{ V}$)

Diody

D_1 křemíková dioda KY 708

Ostatní součástky

Dt doutnavka

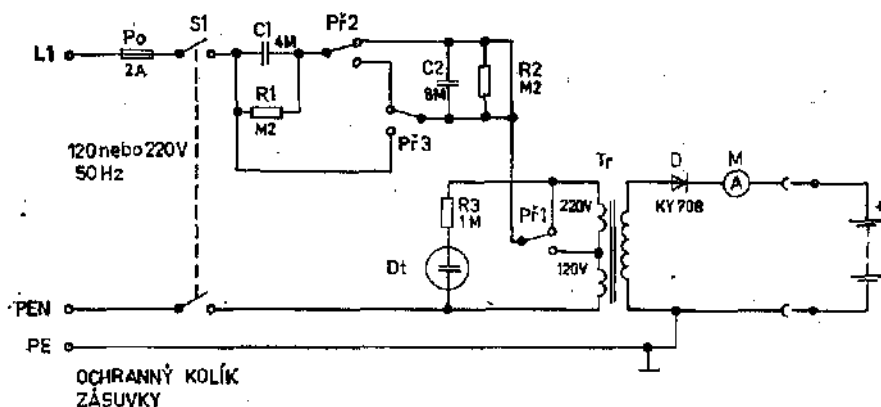
Po trubičková pojistka 2 A

A ampérmetr s rozsahem do 10 A

síťová Šňůra, přístrojové svorky 2 ks, pryžové nožky 4 ks, držadlo;
mechanická sestava podle obr. 71.

54. Nabíječ akumulátorů s kondenzátorem pro síť 220/120 V s továrně vyráběným transformátorem

Tento nabíječ je určen pro zájemce, kteří nemají možnost zhotovit si transformátor, neboť využívá transformátoru, vyráběného družstvem Mechanika pod označením OJV-03. Tento transformátor má primární vinutí pro napětí 120 i 220 V a sekundární vinutí je na napětí 24 V. Příkon transformátoru je 300 VA. Transformátor je složen z plechů M se šířkou vnitřního sloupku 40 mm. Výška svazku plechů je 50 mm. Zapojení nabíječe s tímto transformátorem je na obr. 74.



Obr. 74. Nabíječi pro síť 230/120 V s kondenzátory

Zapojení je shodné s nabíječem, který byl popsán v předchozím článku, je pouze rozšířeno o přepínač, jímž se přepíná odbočka na primární straně transformátoru (120/220 V). Používáme-li nabíječ pro síťové napětí 220 V, je přepínač PŘ₁ v poloze „230“; chceme-li nabíjet akumulátor 24 V, je možné přepojit přepínač do polohy „120“ (při napětí sítě 220 V). Naopak při síťovém napětí 120 V lze využít obou poloh PŘ₁; různé nabíjecí proudy pro různé akumulátory jsou v závislosti na napětí sítě uvedeny v tab. 16. Z tabulky je zřejmé, při jakých polohách přepínačů na předním panelu procházejí do akumulátoru požadované nabíjecí proudy. Vidíme, že pro nejběžnější šestivoltové a dvanáctivoltové akumulátory vyhovuje převážná většina poloh přepínačů. Potřebný nabíjecí proud je tedy možné nastavit poměrně snadno.

Tabulka 16. Změřené nabíjecí proudy nabíječe s kondenzátory podle obr. 74

Napětí sítě V	Napětí akumulá- toru [V]	Nabíjecí proud [A] při polohách přepínačů $Př_2$ a $Př_3$							
		1	2	3	4	1	2	3	4
220	0	6,7	4,4	2,2	1,4				
	2,4	6,3	4,2	2,1	1,2	—	—		—
	4,8	6	4	1,8	1		—	—	—
	6	6	4	1,8	1		—	—	—
	12	6,3	4	1,8	0,9	—	—	—	—
	18	6,5	4,3	1,4	—				—
	24	6,5	3,4	0,5	—	7	5,8	3	—
120	0	3,6	2,4	1,1	0,5	6,4	4,3	2,1	1,4
	2,4	3,4	2,2	1	0,5	6	4	2	1,4
	4,8	3,4	2,1	0,8	0,3	5,8	3,8	2	1,4
	6	3,2	2	0,8	—	5,3	3,5	1,8	1,4
	12	2,2	2	0,5	—	3,7	2,5	1,4	1
	18	3	2	0,2	—	1,3	1,3	1	1
	24	3,2	1,7	—	—	—	—	1	1

55. Nabíječ akumulátorů s kondenzátorem a s automatickým vypínáním

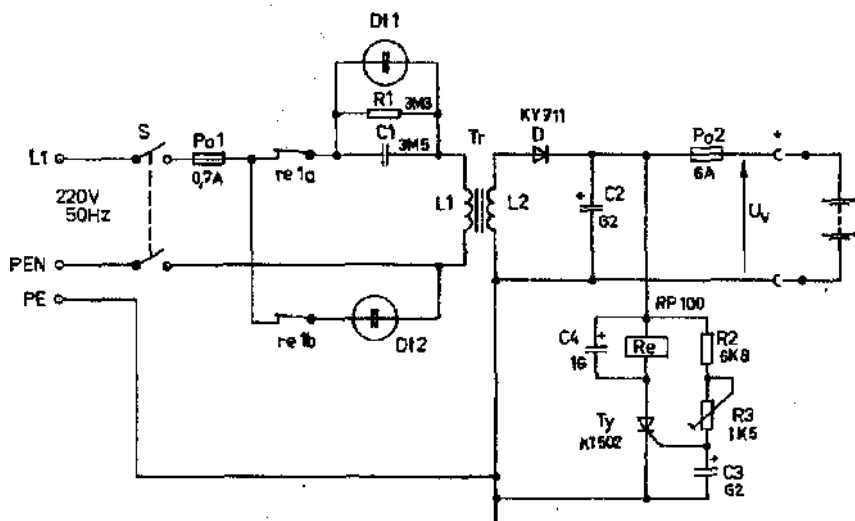
Na obr. 75 je schéma nabíječe s kondenzátorovým omezením nabíjecího proudu a s automatickým vypínáním, odvozeným od stupně nabití připojeného akumulátoru. Princip omezení sekundárního proudu je stejný jako u ostatních nabíječů s kondenzátorovým omezením, tj. kondenzátor je zapojen do série s primárním vinutím transformátoru. Velikost kapacity kondenzátoru volíme podle potřeby. Kapacita $C_1 = 3,5 \text{ uF}$ (obr. 75) vyhovuje pro dvanáctivoltové akumulátory 35 Ah používané u vozů Škoda MB. Střední nabíjecí proud je podle rozptylu součástek od 2,8 do 3 A.

Jedním ze znaků nabití je velikost napětí akumulátoru. Protože úroveň napětí, při které se nabíjecí proud odpojí, nastavíme trimrem umístěným uvnitř přístroje, je nabíječ jednoúčelový. Pro olověný akumulátor o jmenovitém napětí 12 V, pro který platí hodnoty na obr. 10, nastavíme vypínací napětí na 16,5 V. Pro jiné typy akumulátorů odvodíme velikost vypínacího napětí z nabíjecí křivky.

Činnost je patrná ze schématu. Jakmile výstupní napětí nabíječe U_v , které se vytvoří na akumulátoru, přestoupí nastavenou úroveň.

sepně tyristor Ty. Sepne relé a rozpojí kontakt re_{1a} , který odpojí nabíječ od sítě.

Katalogová velikost spínacího proudu tyristoru je 10 mA ($I_{GT\ max}$). Pro náš účel je třeba vybrat tyristor, který spolehlivě spíná při proudu 3 až 5 mA. Správnou velikost napětí, při kterém nabíječ rozezne,



Obr. 75. Nabíječ s kondenzátorovým omezením proudu a automatickým vypínáním

nastavíme tak, že místo akumulátoru připojíme na svorky vnější stejnosměrný zdroj. Nabíječ máme přitom odpojený od síťového napětí. Trimrem R_3 nastavíme sepnutí tyristoru při napětí U_v . Slabinou tohoto uspořádání je značná tepelná nestabilita prahové úrovně sepnutí, neboť se mění velikost potřebného proudu k sepnutí tyristoru (I_s). Proto velikost napětí nastavujeme při teplotě, která odpovídá podmínkám při nabíjení a tyristor umístíme v přístroji tak, aby nebyl při provozu ohříván ostatními součástkami.

Doutnavka Dt_2 signalizuje konec nabíjení a vypnutí nabíječe. Obě doutnavky signalizují správnou funkci nabíječe. Částečně lze také z jejich chování poznat druh poruchy.

Jakmile se akumulátor nabíjí, musí svítit Dt_1 a Dt_2 je zhasnutá. Po nabití Dt_1 zhasne a rozsvítí se Dt_2 .

Jestliže Dt_1 a Dt_2 střídavě blikají, je odpojený akumulátor, nebo je přerušovaný sekundární obvod transformátoru (relé Re kmitá). Pro uvedené hodnoty součástek je kmitočet spínání asi 1 Hz.

Je-li akumulátor odpojený a přesto trvale svítí Dt_1 a Dt_2 je zhasnutá, jsou tyto možnosti poruchy:

zkrat na výstupních svorkách nabíječe.

zkrat v kondenzátoru C_2 ,

přerušená dioda D ,

přerušené sekundární vinutí transformátoru nebo jiná závada v sekundárním vinutí transformátoru (např. přerušený tyristor, cívka relé, přerušený kondenzátor C_1).

Když se Dt_2 rozsvítí ihned po připojení akumulátoru, je nesprávně nastavený trimr R_3 nebo zkrat v tyristoru.

Pokud Dt_1 nesvítí a Dt_2 bliká při odpojeném akumulátoru, je zkrat v kondenzátoru C_2 .

Nesvítí-li žádná doutnavka, je přerušený primární okruh (vadná pojistka, vadný kontakt relé, přerušené vinutí transformátoru).

Rozpiska součástek

Transformátor

Tr plechy EI 40x32; vinutí L_1 (230 V) má 990 závitů drátu o průměru 0,6 mm CuL, vinutí L_2 (32 V) má 80 závitů drátu o průměru 1,25 mm CuL

Polovodičové součástky

D dioda KY 711

Ty tyristor KT 502

Kondenzátory

C_1 3,5 uF/1000 V

C_2 TE 986, 200 uF/35 V

C_3 TE 962, 200 uF/6 V

C_4 TE 936, 1000 uF/25 V

Odpory

R_1 TR 112, 3,3 MOhm

R_2 TR 112, 6,8 kOhm

R_3 potenciometr TP 041, 1,5 kOhm

Ostatní součásti

Dt_1 , Dt_2 doutnavky s ochranným odporem pro 220 V

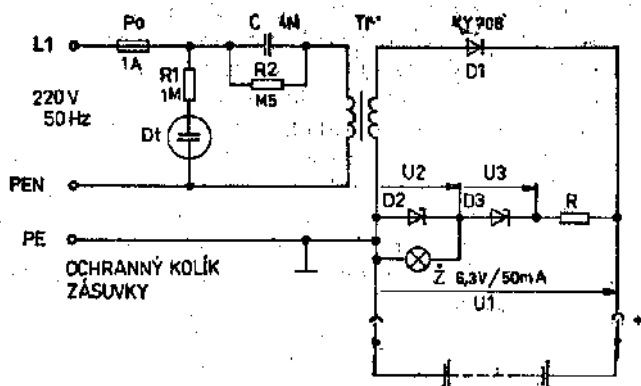
S síťový vypínač

Po_1 , Po_2 trubičkové pojistky

Re relé RP 100 4000 závitů o průměru 0,2 mm CuL (350 až 400 Az),
(pro variantu 6 V; 2700 závitů, o průměru 0,28 CuL)

56. Zjednodušený nabíječ akumulátorů s kondenzátorem

Chceme-li nabíjet s nabíječem stále stejný typ akumulátoru, stačí konstruovat nabíječ s jedním kondenzátorem, zapojeným v sérii s primárním vinutím transformátoru. Pro jednoduchost lze vynechat i síťový spínač a ampérmetr. Nabíječ je pak vhodné doplnit obvodem, který indikuje správnou činnost. Na obr. 76 Je schéma a na obr. 77 celkové uspořádání tohoto nabíječe, síťové napětí je přes pojistku přivedeno na kondenzátor a jeho přítomnost je indikována doutnavkou, která má v sérii ochranný odpor 1 MOhm. Sériový kondenzátor



Obr. 76. Zjednodušený nabíječ s kondenzátorem



Obr. 77. Zjednodušený nabíječ s kondenzátory

nesmí být samozřejmě elektrolytický a musí být na napětí alespoň 1000 V. Při odpojení akumulátoru je na kondenzátoru napětí asi 700 V! Kapacita tohoto kondenzátoru určuje velikost nabíjecího proudu. Pro proud v rozsahu 2 až 10 A lze volit kondenzátor v rozmezí kapacit 2 až 12 uF. Správnou kapacitu kondenzátoru je nejlépe volit experimentálně, neboť závisí na použitém transformátoru. Potřebnou kapacitu (není-li ve vyráběné řadě) nastavíme složením několika kondenzátorů v sérii nebo paralelně.

Transformátor s primárním vinutím 220 V by měl být navržen tak, aby sekundární napětí bylo pro šestivoltový akumulátor nejméně 10 V, pro dvanáctivoltový akumulátor sekundární napětí 15 V a pro dvacetičtyřvoltový akumulátor sekundární napětí 27 V. Primární a sekundární vinutí a rozměry plechů transformátoru musí vyhovovat požadovaným nabíjecím proudům. Zásady pro výpočet transformátoru byly již uvedeny, často však vystačíme s „odloženým“ transformátorem. k němuž stačí vybrat vhodný kondenzátor.

Usměrňovací dioda musí mít chladič. Velikost chladiče závisí též na požadovaném proudu, stejně jako volba vhodné diody. Závěrné napětí diody volíme záměrně větší vzhledem k tomu, že nezatížený transformátor tvoří s kondenzátorem sériový rezonanční obvod. Při malém zatížení, nebo během půlperrody, v níž neprochází diodou proud, se jnuže na diodě objevit napětí větší, než je špičkově sekundární napětí. Závěrné napětí diody je proto vhodné volit v rozmezí dvojnásobku až trojnásobku špičkového napětí sekundárního vinutí.

Správný průchod nabíjecího proudu akumulátoru kontrolujeme žárovkou Ž, která je označena nápisem „kontrola nabíjení“ na obr. 77. Je-li akumulátor připojen k nabíječi správně, Žárovka nesvítí. Obvod rozsvěčující žárovku (není-li připojen nabíjený akumulátor) je tvořen dvěma Zenerovými diodami, odporem a příslušnou žárovkou. Dioda D_2 chrání žárovku před napěťovými špičkami, vznikajícími při připojování nabíječky k síti a při odpojování od sítě. Bez této diody má žárovka velmi krátkou dobu života a velmi brzy se zničí. Obvod využívá toho, že napětí bez zátěže U_1 je při nepřipojeném akumulátoru vlivem sériové rezonance transformátoru s kondenzátorem podstatně větší než při připojeném akumulátoru.

Pro dvanáctivoltový akumulátor je napětí U_{\max} asi 16,8 V. Použijeme-li žárovku 6,3 V/50 mA, lze použít jako D_2 Zenerovu diodu typu 2NZ70 a jako D_3 Zenerovu diodu typu 6NZ70.

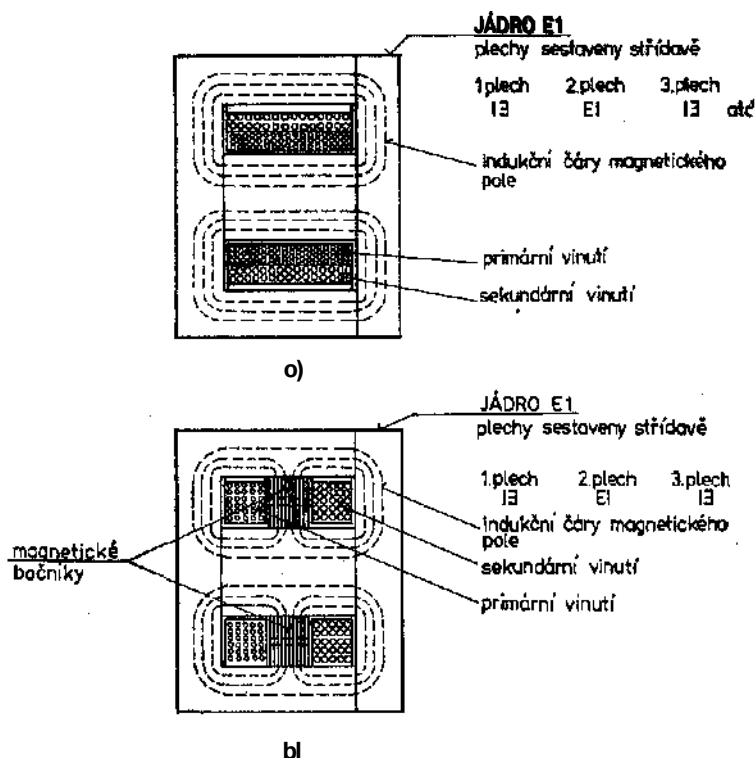
Odpor v sérii s diodami vypočítáme ze vztahu

$$R_3 = \frac{U_1 - U_2 - U_3}{I} \quad [\Omega; \text{V, A}]$$

kde U_1 je napětí nabíječe bez připojeného akumulátoru,
 U_2, U_3 jsou napětí Zenerových diod D_2, D_3 ,
 I je proud žárovkou ($50 \text{ mA} = 0,05 \text{ A}$).

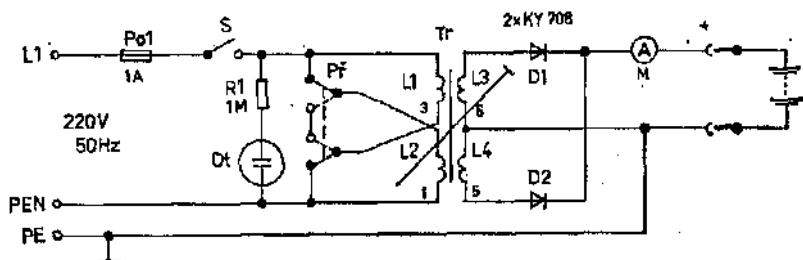
57. Nabíječ akumulátorů s rozptylovým transformátorem

Podstatou tohoto způsobu konstrukce nabíječe je úprava magnetického obvodu transformátoru. Upravíme-li totiž magnetický obvod transformátoru tak, aby všechny indukční čáry magnetického pole



Obr. 78. a) sestava běžného transformátoru s jádrem EI; b) sestava rozptylového transformátoru z týchž plechů EI vzniklá přidáním dvou magnetických bočnic a rozdělením primárního a sekundárního vinutí na dvě cívky

primárního vinutí neprošly do obvodu sekundární cívky, ale aby „si našly“ zčásti jinou cestu, zmenšíme účinnost transformátoru. Přesto napětí naprázdno je stále stejné a je dáno převodem transformátoru (poměrem závitů primárního a sekundárního vinutí). Menší je však zkratový proud. Při odběru proudu se transformátor přesycuje a není (od určitého proudu) schopen přenést do sekundárního obvodu větší výkon. Nastavitelnými magnetickými bočníky lze regulovat zkratový a nabíjecí proud pro akumulátor tak, jako by šlo o nabíječ s odporovým omezením nabíjecího proudu. Nevýhodou nabíječe je, že může být pouze jednoúčelový, tj. pouze pro jeden nebo dva nabíjecí proudy. Princip rozptylového transformátoru je na obr. 78b. Na obr. 78a je běžný transformátor na jádru EL. Primární i sekundární vinutí jsou na společné cívce — proto je jejich magnetická vazba velmi těsná. Případný zkratový proud na sekundární straně je omezen pouze činným odporem měděného drátu cívky, který bývá velmi malý. Zkratový proud je proto tak velký, že se může transformátor poškodit. Rozdělíme-li primární vinutí na dvě části a umístíme-li mezi kostry cívek magnetické bočníky, vytvoříme magnetickému poli novou cestu, ovlivníme jeho rozložení (obr. 78b) a můžeme ho regulovat změnou v uložení bočníků, jejich vysouváním nebo mezerou mezi jádrem transformátoru a bočníkem. Tím lze měnit sekundární zkratový proud. V našem případě ho lze nastavit na velikost do 10 A.



Obr. 79. Celkové schéma nabíječe s rozptylovým transformátorem

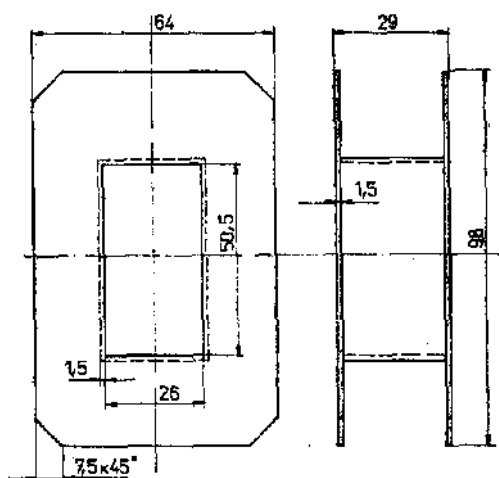
Schéma nabíječe je na obr. 79. Nabíječ je napájen ze sítě 220 V přes pojistku a síťový spínač. Primární vinutí transformátoru je rozděleno do dvou sekcí L_1 a L_2 , které jsou v běžném případě, tj. při spojení vývodů 2, 4, a 3, 1 transformátoru zapojeny paralelně. Přepneme-li přepínač Př do druhé polohy, spojí se vinutí L_1 a L_2 do série, pak se nabíjecí proud podstatně zmenší a nabíječ slouží pro velmi pomalé nabíjení (dobíjení) akumulátorů nebo k nabíjení motocyklových akumulátorů. Naprázdno je na sekundárních cívkách napětí asi 2×23 V

L_3 a L_4). Toto napětí se diodami- D_1 a D_2 dvojcestně usměrní. Diody umístíme na chladiče, vzájemně izolované z duralového nebo hliníkového plechu tloušťky 1 až 2 mm o ploše 100 až 200 cm². Měřidlo M je kontrolní ampérmetr. Ampérmetr můžeme vynechat, spolehneme-li se na předem ověřené nabíjecí proudy u akumulátoru jednoho (námi používaného) typu. Zapnutí nabíječe lze indikovat doutnavkou s předřádným odporem.

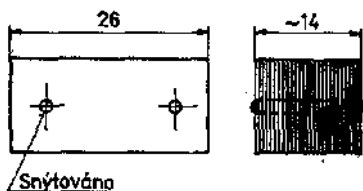
Nabíječem lze bez jakéhokoli přepínání nabíjet šestivoltové i dvánáctivoltové akumulátory. Jak již bylo uvedeno, jsou-li cívky primárního vinutí paralelní, dává nabíječ maximální proud k nabíjení automobilového akumulátoru, přepojíme-li je do série, lze nabíjet značně menším proudem akumulátory pro motocykly. Konstrukce předpokládá, že si počáteční nabíjecí proud nastavíme napevno bočnickem při stavbě nabíječe — proud pak již nelze regulovat, neboť bočník je s transformátorem pevně spojen. Trvalý nabíjecí proud je možné nastavit v rozmezí asi 3 až 8 A. K ujasnění uvedeme několik konkrétních údajů, získaných při zkoušení hotového nabíječe. Máme-li např. dvanáctivoltový akumulátor 40 Ah, nastavíme bočníky transformátoru tak, aby nabíječ nabíjel zcela vybitý akumulátor proudem 4 až 4,5 A. Během nabíjení se proud pak zmenší asi o 1 až 1,5 A. Budeme-li při stejné nastavených bočnicích nabíjet šestivoltový akumulátor, bude nabíjecí proud zhruba o 1 až 2 A větší. Spojíme-li přepínačem obě primární vinutí do série, bude maximální výstupní proud nabíječe asi 0,5 A, což je proud, právě vhodný pro akumulátory motocyklů. Upozorňujeme, že uvedené údaje jsou získané měřením na konkrétním nabíječi a že u nabíječe s jinak nastavenými magnetickými bočníky se budou od uvedených údajů lišit.

Popis mechanických částí nabíječe omezíme na popis rozptylového transformátoru. Tělísko cívky pro primární a sekundární vinutí je na obr. 80, tělísko (kostra) cívky je z tvrdého papíru nebo z tenkého pertinaxu, popř. z tvrzeného papíru. Magnetický bočník je na obr. 81. Je to v podstatě svazek plechů I, které jsou snýtovány do sloupku 26X14 mm. Celková sestava rozptylového transformátoru je na obr. 82. Magnetický bočník (jeho polohu) zajistíme po nastavení požadovaného nabíjecího proudu přilepením např. Epoxu 1200. Konstrukci celé nabíječky si může každý upravit podle součástek, které má k dispozici, především podle síťového transformátoru. Nezapomeňte však na dostatek větracích otvorů a pečlivě zhotovte především ty části, na nichž je napětí sítě. Vraťme se ještě jednou k obr. 81 — vhodná tloušťka materiálu na kostru cívky je asi 1 až 1,5 mm. Cívka musí být mechanicky stabilní. Na jednu cívku navineme primární, na druhou sekundární vinutí. Vhodný je způsob „závit vedle závitu“, jednotlivé vrstvy prokládáme transformátorovým papírem. Počet vrstev je uveden

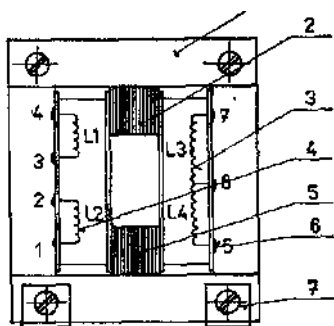
v rozpisce součástek. Jádru transformátoru je složeno z padesáti plechů EI 50X25, střídavě, tloušťka jednoho plechu je 0,5 mm, Magnetické bočníky obsahují každý celkem dvacet osm plechů. Plechy snýtujeme nejlépe nemagnetickými nýty (mosaz, měď, hliník). Hlavy nýtů je třeba



Obr. 80. Tělo cívky primárního
1 sekundárního vinutí (potřeba
2 kusů)



Obr. 81. Magnetický bočník. Materiál: 14 plechů
I (tl. 0,5 mm). Potřeba 2 kusů



Obr. 82. Celková sestava rozptylového trans-
formátoru. 1 — jádro EI, 2 — první magnetický
bočník, 3 — cívka sekundárního vinutí, 4 —
cívka primárního vinutí, 5 — druhý magnetický
bočník, 6 — vývody cívky, 7 — přichycovací
patky transformátoru

co nejvíce zapustit a popř. upilovat, aby prostorově nevadily oběma cívkám.

Celý transformátor je vhodné po přezkoušení funkce nabíječe demontovat a ponořit jej do impregnačního laku. Tím se nejen zpevní cívky a celá konstrukce, ale zabrání se navlhání transformátoru.

Rozpiska součástek

Diody

D₁, D₂ KY 708

Spínač, přepínač

S dvojpólový síťový spínač

Př dvojpólový páčkový přepínač

Ostatní součástky

Po trubičková pojistka s pouzdem (1 A)

M ampérmetr s rozsahem 10 A

Transformátor

Tr jádro — plechy EI 50x25, celkem 50 plechů, skládat střídavě, efektivní průřez jádra je 11,9 cm²; magnetická indukce 1,11 T; 3,4l závitů na jeden volt

L₁, L₂ 750 závitů drátu o průměru 0,375 mm \pm 3krát lesklá lepenka tloušťky 0,3 mm, šířky 27 mm; cívka má celkem 16 vrstev závitů;

L₃, L₄ 80 závitů drátu o průměru 1,4 mm + 2krát lesklá lepenka tloušťky 0,3 mm, šířky 27 mm; cívka má celkem 6 vrstev závitů.

Každou vrstvu vinutí je třeba proložit jednou transformátorovým papírem 0,03X27 mm.

58. Nabíječe pro uzavřené články NiCd

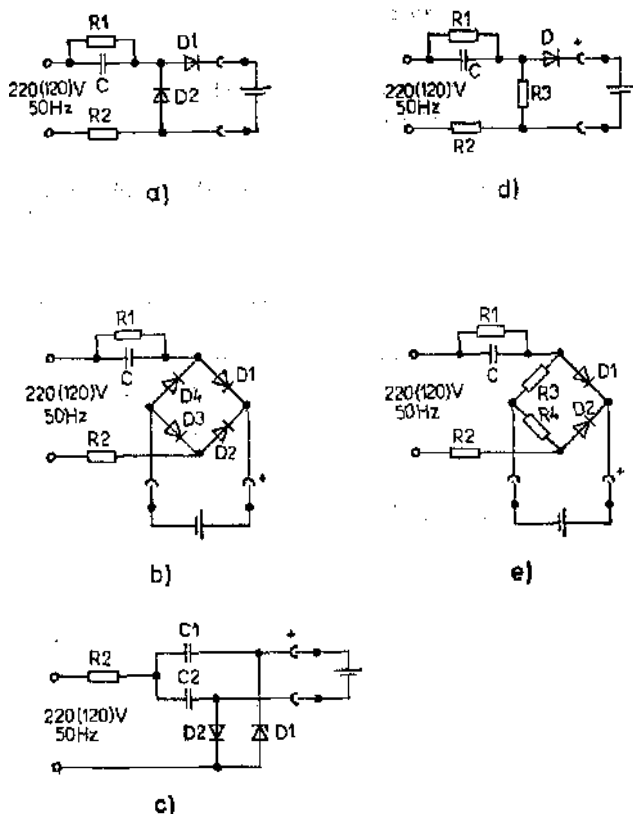
K nabíjení uzavřených článků NiCd je nejvhodnější používat nabíječ s charakteristikou I (obr. 32). Články se používají nejčastěji u přenosných elektronických zařízení, pro něž je vhodná jejich vybíjecí charakteristika — jsou totiž schopné pracovat se stálým svorkovým napětím až téměř do úplného vyčerpání kapacity článku, což je jejich největší předností, vzhledem k suchým článkům (burelovým).

Výrobce obvykle udává nejvhodnější nabíjecí proud, při jeho překročení se pak může porušit kompaktnost článku a může vytékat jeho

náplň. Nepřekročí-li se nabíjecí proud, „vydrží“ tyto články i značné přebíjení.

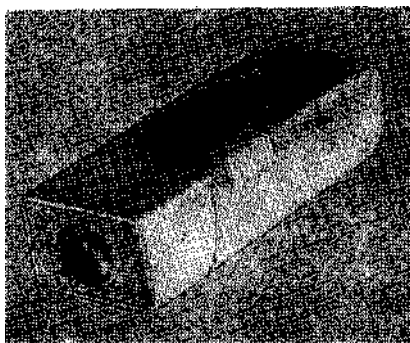
Uzavřené niklokadmiové články se nejčastěji doporučuje nabíjet proudem číselně se rovnajícím $1/10$ kapacity článku; např. Článek s kapacitou 225 mAh se nabíjí proudem 22 mA po dobu čtrnáct až šestnáct hodin. Protože se málokdy používají jednotlivé články, je nabíječ obvykle řešen tak, že je schopen nabíjet několik článků současně.

Na obr. 83a je schéma typického nabíječe, jímž je např. vybavena kapesní svítlna pro nabíjení ze sítě, výrobek družstva Mechanika Praha (obr. 84, 85). Tato svítlna obsahuje dva uzavřené články NiCd s kapacitou 225 mAh.

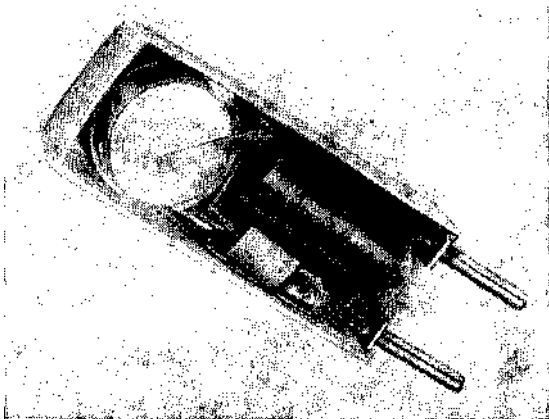


Obr. 83. Nejjednodušší typy nabíječů pro uzavřené články NiCd

Proud procházející do nabíjených článků je omezován kondenzátorem C . Jedna půlvlna proudu prochází obvodem $C - D_1 - \text{akumulátor} - R_2$ a opačná půlvlna obvodem $R_2 - D_2 - C$. Oba články (akumulátor) jsou tedy nabíjeny první půlvlnou. V druhé půlvlně se



Obr. 84. Kapesní svítilna



Obr. 85. Vnitřek kapesní svítilny uzpůsobený jako nabíječ článků NiCd

náboj kondenzátoru vybíjí přes obvod diody D_2 . Odpor R_1 slouží k vybití kondenzátoru po vyjmutí přístroje ze sítě zásuvky. Odpor R_2 chrání diody před špičkovými proudy při připojení svítilny k síti. Diody nemusí být dimenzovány na velké závěrné napětí, neboť dokud je připojen na výstup usměrňovače (nabíječe) akumulátor, chrání vždy jedna dioda druhou diodu před zvětšením závěrného napětí na úroveň

napětí sítě. Jednou z diod totiž prochází proud v propustném směru a napětí na diodě není větší než 1 V. Kondenzátor C_1 musí být dimenzován na napětí sítě. Jeho kapacitu lze vypočítat ve vztahu

$$C = \frac{6,5 I}{U} \quad [\mu F; mA, V]$$

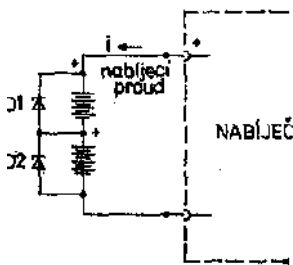
kde I je nabíjecí proud akumulátoru,
 U napětí sítě (50 Hz).

U některých „kapesních“ nabíječů se používá můstkový usměrňovač, schéma nabíječe se pak změní podle obr. 83b. K výpočtu kapacit kondenzátoru se pak použije vztah

$$C = \frac{3,3 I}{U}$$

neboť proud prochází akumulátorem v obou půlvlnách.

V praxi se používá ještě mnoho dalších variant základního zapojení nabíječe, např. na obr. 83d je dioda D_2 nahrazena odporem, na obr. 83e jsou dvě diody můstkového usměrňovače nahrazeny odporem atd. Dvojestného usměrnění lze dosáhnout i zapojením nabíječe podle obr. 83c, v němž jsou použity dva kondenzátory.



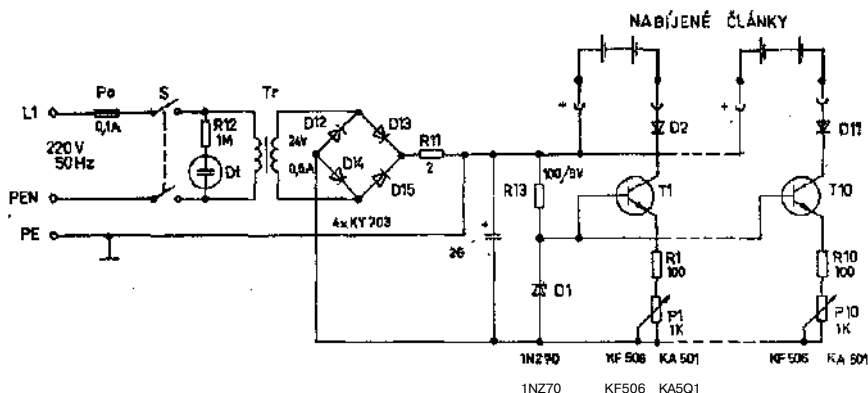
Obr. 86. Ochrana uzavřených článků NiCd před přebitím

Chceme-li nabíjet uzavřené niklotadmiové články s větší kapacitou, je vhodné použít nabíječ, v němž se používá k řízení proudu tranzistor.

Někdy potřebujeme, aby byl akumulátor připojen k nabíječi trvale a aby se jeho vlastností využívalo pouze při výpadu sítě. S takovými obvody se setkáváme u elektrických hodin nebo u zařízení s polovodičovou pamětí, která ztrácí informaci při výpadku sítě. V takových případech je třeba zajistit, aby se akumulátory nenabíjely trvale. Toho lze dosáhnout např. připojením Zenerovy diody paralelně k několika článkům, princip zapojení je na obr. 86. Dosáhne-li napětí na Článcích Zenerova napětí diody, začne proud z nabíječe procházet Zenerovou

diodou; tím se zamezuje přílišnému přebíjení článků. Zenerovy diody musí být samozřejmě vybrány tak, aby jejich napětí bylo shodné s napětím správně nabitých článků. Charakteristika použitých diod musí být co nejstrmější.

Chceme-li nabíjet větší množství uzavřených článků NiCd, např. v modelářských klubech nebo v nabíjárnách, lze jako nabíječ použít



Obr. 8.7 Nabíječ většího množství uzavřených článků NiCd

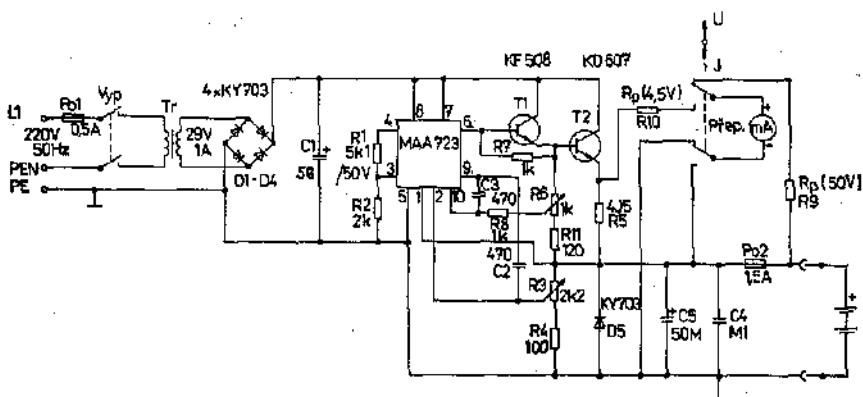
zapojení z obr. 87. Nabíječ při tomto zapojení využívá ke stabilizaci proudu tranzistory, jako referenční napětí je však použito společné stabilizované napětí. Ke každému z deseti tranzistorů lze připojit až deset nabíjených článků NiCd v sérii. Proud v jednotlivých větvích nabíječe lze nastavit proměnnými odpory 1 kOhm v emitorech tranzistorů. Podle zvoleného pevného odporu lze tak měnit proud v rozmezí 5 až 40 mA.

59. Nabíječ s integrovaným obvodem MAA 723

Nabíječ s charakteristikou I s napěťovým i proudovým omezením lze realizovat pomocí integrovaného monolitického regulátoru, který vyrábí n. p. TESLA Rožnov pod označením MAA 723. Tento integrovaný obvod obsahuje teplotně kompenzovaný zdroj a zesilovač referenčního napětí, zesilovač regulační odchylky a obvod pro omezení výstupního stabilizovaného proudu. Vnějšími součástkami lze tedy nastavit velikost napětí (potenciometrem R_3) a velikost proudu (potenciometrem R_6).

Na schématu obr. 88 je celkové zapojení nabíječe s integrovaným obvodem. Nabíjecí proud je spojitě nastavitelný v rozsahu 0 až 1 A a výstupní napětí v rozsahu 2 až 25 V. Pokud nastavený proud nepřesáhne 0,6 A, lze regulovat výstupní napětí až do 30 V.

Integrovaný obvod lze napájet maximálním napětím 40 V, a proto nesmí efektivní hodnota napětí na sekundární straně transformátoru přesáhnout 29 V.



Obr. 88. Nabíječ s integrovaným obvodem MAA 723

Na emitorovém odporu R_5 výkonového tranzistoru vzniká průchodem proudu úbytek napětí. Tento úbytek zvětšený o napětí U_{BE} výkonového tranzistoru je současně na potenciometru R_6 . Během tohoto potenciometru a vnitřními obvody integrovaného obvodu MAA 723 nastavujeme omezující proud nabíječe. Kondenzátory C_2 a C_3 slouží k zajištění stability zpětnovazební smyčky a zesilovače odchylky.

Tento nabíječ je pro své vlastnosti obzvláště vhodný pro zapouzdřené NiCd články a akumulátory. Lze jej použít k dobíjení suchých článků a všude tam, kde postačí jeho velikost nabíjecího proudu. Při nabíjení proudem 1 A lze zařadit až 14 NiCd článků zapojených do série. Nabíjíme-li menším proudem, můžeme zapojit do série až sedmáct článků.

Nabíječ můžeme využít také jako normální říditelný zdroj napětí 2 až 30 V s nastavitelným proudovým omezením k různým experimentům nebo k napájení jiných spotřebičů (např. tranzistorových rozhlasových přijímačů).

Obsluha nabíječe je snadná. Zapneme síťový spínač a na měřicím přístroji nastavíme potenciometrem R_3 velikost napětí, která odpovídá

součtovému napětí na jednotlivých článcích v nabitém stavu. Protože články řadíme do série, rovná se nastavitelné napětí součinu počtu článků a napětí nabitého článku, které zjistíme pro NiCd články v grafu na obr. 15, a činí asi 1,7 V.

Pokud budeme nabíjet vždy stejný druh článků, je vhodné si zhotovit tabulku výsledných napětí pro různý počet nabíjených článků. Potom připojíme ke svorkám nabíječe články určené k nabíjení, přepneme přepínač měřícího přístroje do polohy I a potenciometrem R_6 nastavíme potřebný nabíjecí proud.

Jakmile dosáhne napětí na článcích velikosti nastavené potenciometrem R_3 , omezí se nabíjecí proud na minimum a nedochází k dalšímu přebíjení článků. Tento nabíječ je tedy vhodný i pro trvalé připojení k akumulátorům, kde samočinně pečuje o jejich pohotovostní stav. Přitom se není třeba obávat, že dojde k poškození nabíječe při plném zatížení akumulátoru, neboť proudové omezovací obvody zajistí, aby se odběr z nabíječe nezvětšil nad nastavenou mez.

Při zkratu nebo pokud připojíme k tomuto nabíječi pouze jediný článek NiCd a nabíjíme-li maximálním proudem, tj. 1 A, vzniká ve výstupním tranzistoru typu KD 607 značná výkonová ztráta (asi 38 W). Tuto ztrátu je třeba odvést do okolí přiměřeně velkým chladičem. Kryt nabíječe je třeba zhotovit z plechu opatřeného větracími otvory, aby byl chladič účinný.

Použité součástky

Transformátor

Tr plechy EI 32 x 32, primární vinutí (230 V) 990 závitů drátu průměru 0,35 mm CuL, sekundární vinutí (29 V) 132 závitů drátu průměru 0,75 mm CuL

Polovodičové součástky

D_1, D_6 dioda KY 703

T_1 tranzistor KF508

T_2 tranzistor KD607

IO integrovaný obvod MAA 723

Odpory

R_1 odpor vrstvý TR 144, 5,1 kOhm

R_2 odpor vrstvý TR 144, 2 kOhm)

R_3 potenciometr WN 691 70, 2,2 kOhm

R_4 odpor vrstvý TR 144, 100 Ohm,

R_5 odpor drátový vinutý 4,5 Ohm

R_6 potenciometr TP 180, 1 kOhm)

R_7 , R_8 odpor vrstvový TR 114, 1 kOhm
 R_9 předřadný odpor měřicího přístroje pro 50 V
 R_{10} předřadný odpor měřicího přístroje pro 4,5 V
 R_{11} odpor vrstvový TR 114, 120 Ohm

Kondenzátory

C_1 kondenzátor elektrolytický 5 G/50 V
 C_2 , C_3 kondenzátor TC 281, 470 pF
 C_4 kondenzátor TC 195, 0,1 uF
 C_5 kondenzátor TE 988, 50 uF

Ostatní součástky

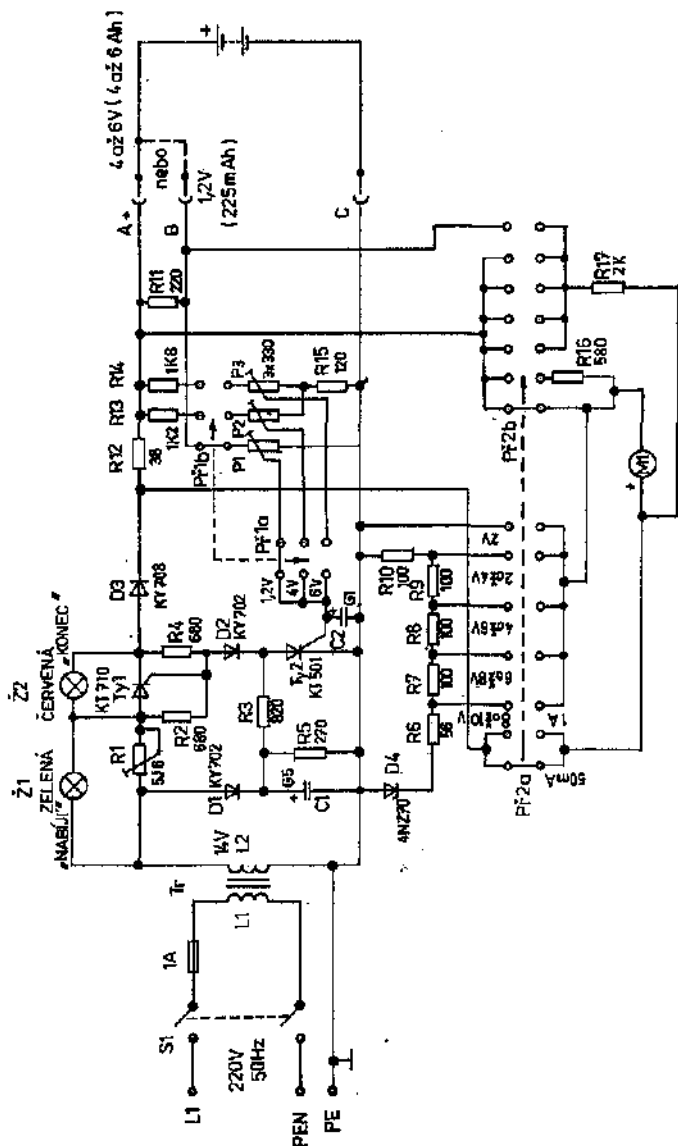
síťový vypínač
 přepínač
 miliampérmetr
 síťová pojistka 0,5 A
 pojistka 1,5 A
 síťová šňůra
 mechanická sestava

60. Nabíječ malých NiCd a olověných akumulátorů s automatickým vypínáním

Nabíječ je vhodný pro jmenovité napětí akumulátorů 1,2 V; 4 V; 6 V. Střední nabíjecí proud je pro napětí 1,2 V (výstup BC) 25 mA, pro napětí 4 V (výstup AC) 0,6 A a pro napětí 6 V (výstup AC) 0,4 A.

Celkové schéma nabíječe je na obr. 89. V principu jde o jednoduchý odporový nabíječ, který má automatické vypínání konce nabíjení odvozené od velikosti napětí připojeného akumulátoru. Pro výstup BC je proud určen převážně odporem R_{11} . Pro výstup AC je proud transformátoru omezován odporem R_1 a paralelní žárovkou \check{Z}_1 , sériově zapojenou žárovkou \check{Z}_2 a odporem R_{12} . Pro oba výstupy AC i BC je proud pouze jednoduše usměrňován diodou D3. Velikost nabíjecího proudu je tedy podle Ohmova zákona dána velikostí sekundárního napětí připojeného akumulátoru a velikostí omezovacích odporů zapojených v obvodu.

Průchodem nabíjecího proudu se vytváří na odporu R_1 úbytek napětí, který rozsvítí žárovku \check{Z}_1 , která signalizuje, že se akumulátor nabíjí. Během nabíjení se zvyšuje napětí na akumulátoru. Dělič napětí tvořený potenciometrem P_1 , R_{11} (popř. P_2 , R_{13} a R_{15} nebo P_3 , R_{14} a R_{15}) je nastaven tak, aby sepnul tyristor Ty_2 , jakmile napětí na akumulátoru dosáhne velikosti určující plné nabití všech článků. Jednotlivé



Obr. 89. Nabíječ malých NiCd a olověných akumulátorů s automatickým vypínáním

úrovně napětí pro různé druhy akumulátorů zjistíme z nabíjecích charakteristik.

Tyristor Ty_1 byl trvale sepnut, protože na jeho řídicí elektrodu se dostávalo kladné napětí přes odpor R_4 . Jakmile však sepne tyristor Ty_2 , stává se řídicí elektroda Ty_1 zápornou (vzhledem ke katodě) a Ty_1 rozezne, neboť jím prochází pulsující, jednocestně usměrněný proud.

Zároveň se rozsvítí žárovka \check{Z}_2 oznamující konec nabíjení. Žárovkou prochází proud určený velikostí odporu R_4 . Velikost tohoto proudu je asi 30 mA. Na odporu R_1 se nevytvoří dostatečně velké napětí pro rozsvícení žárovky \check{Z}_1 . Tyristor Ty_2 zůstává trvale sepnutý, protože se přes něj uzavírá proud ze zdroje, omezený odporem R_3 .

Nabíječ uvedeme opět do pohotovostního stavu pouhým vypnutím a opětovným zapnutím síťového vypínače. Samozřejmě musíme předtím nabitý akumulátor odpojit. Dioda D_2 odděluje stejnosměrný zdroj od řídicí elektrody tyristoru Ty_1 . Druh akumulátoru se volí přepínačem P_1 .

Nabíječ je také vybaven kontrolním měřicím přístrojem. Je zde použito zapojení s potlačenou nulou, neboť k měřenému napětí přičítáme část stabilizovaného napětí, vytvořeného na Zenerově diodě D_4 . Pro jednotlivé napěťové rozsahy měřicího přístroje slouží dělič z odporů R_6 až R_{10} .

Rozpiska součástek

Transformátor

Tr plechy EI 20x25; vinutí L_1 (230 V) 2000 závitů drátu o průměru 0,19 mm CuL, vinutí L_2 (14 V) 150 závitů drátu o průměru 0,6 mm CuL

Polovodičové součástky

D_1, D_2 dioda KY702

D_3 dioda KY708

D_4 Zenerova dioda 4 NZ70

Ty_1 tyristor KT 710 (proud I_{GT} menší než 1 mA)

Ty_2 tyristor KT 502

Kondenzátory

C_1 TE 986, 500 uF

C_2 TE 984, 100 uF

Potenciometry

P_1 až P_3 TP 680, 330 Ohm

Odpory

R_1 TR 626, 5,6 Ohm

R_2, R_4 TR 144, 680 Ohm

R_3 TR 144, 820 Ohm

R_5 TR 636, 270 Ohm

R_6 TR 144, (56 Ohm) podle diody D_4 třeba vybrat

R_7 až R_{10} TR 152, 100 Ohm (1 %)

R_{14} TR 114, 1,8 kOhm

R_{15} TR 144, 120 Ohm

R_{16} TR 144, 560 Ohm

R_{17} TR 144, 1,8 až 2 kOhm

Ostatní součásti

$Př_1$ přepínač WK 533 16 (dvojpatrový, trojpolohový)

$Př_2$ přepínač WK 533 01 (dvojpatrový, sedmipolohový)

$Ž_1$ a $Ž_2$ žárovka 6,3 V/50 mA

61. Tranzistorový nabíječ s charakteristikou I

Nabíječ s kondenzátorem, který byl popisován v předcházejících kapitolách, měl charakteristiku podobnou charakteristice I (obr. 32). Zdroje s touto charakteristikou nazýváme zdroje proudu. Tento pojem je poněkud neobvyklý. Každý celkem snadno pochopí, jak pracuje zdroj konstantního napětí (charakteristika U). Zdroj konstantního napětí se vyznačuje malým vnitřním odporem (takovou vlastnost má právě např. akumulátor). Jsou to zdroje, které mají za určitých podmínek vnitřní odpor nulový nebo záporný. Zvětšuje-li se u takového zdroje odběr proudu, svorkové napětí zdroje zůstává konstantní nebo se i mírně zvětšuje. Zdroje se záporným nebo nulovým vnitřním odporem lze konstruovat pomocí základních elektronických součástek.

Zdrojem proudu je zdroj, jehož vnitřní odpor je velký a v ideálním případě nekonečný. Připojíme-li k podobnému zdroji zátěž, která mění svůj odpor ve velkém rozsahu, je zdroj konstantního proudu schopen dodávat do této zátěže stále stejný proud. Přitom se pochopitelně mění napětí na zátěži. Zdroj proudu lze realizovat poměrně snadno.. Lze postavit i zdroj, který slučuje vlastnosti napěťového a proudového zdroje; zdroj pak obvykle pracuje do určitého napětí na zátěži jako proudový zdroj. Začne-li se zatěžovací odpor dále zvětšovat, chová se pak zdroj jako zdroj napětí.

Plynulou regulaci proudu zátěží umožňuje tranzistor zapojený jako zdroj proudu. Této vlastnosti tranzistoru můžeme využít při konstrukci

mální dovolenou ztrátou regulačního tranzistoru. Vezmeme-li v úvahu cenové relace na trhu výkonových tranzistorů, malou energetickou účinnost a náročnost na konstrukci (chlazení), jsou tranzistorové regulátory do jisté míry luxusem. Ekonomicky zdůvodnitelné jsou zdroje s výstupním proudem do 1 A. V oblasti výstupních proudů od 1 do 6 A jsou již všechny uvedené nevýhody zřejmé a konstruktér se setká při návrhu těchto zdrojů s potížemi. Regulace proudů nad 10 A tranzistory je se součástkovou základnou, kterou máme k dispozici, většinou z ekonomických důvodů neúnosná.

106

rakteristiky v propustném směru je úbytek napětí U_D na diodách poměrně stálý, i když se proud I_2 mění. Úbytek U_D je přibližně 1,5 V. Proud I_2 je v našem případě

$$I_2 = \frac{U_V - U_A - U}{R_2} = \frac{3,6 \text{ V}}{10 \Omega} = 0,36 \text{ A} = 360 \text{ mA}$$

Chceme-li, aby proud do zátěže byl $I_c = 5 \text{ A}$, je proud tranzistorem $I_1 = I_c - I_2 = 5 \text{ A} - 0,35 \text{ A} = 4,65 \text{ A}$. Tranzistor je otevřen proudem procházejícím do báze tranzistoru přes odpor R_1 . Začne-li tranzistorem procházet proud, utvoří se na odporu R_1 úbytek napětí a přibližně ve chvíli, kdy bude úbytek napětí na odporu R_1 stejný jako napětí U_D , začne se tranzistor zavírat. Pro proud $I_1 = 4,65 \text{ A}$ vypočítáme odpor R_1 ze vztahu $R_1 = U_R/I_1 = 1,5 \text{ V}/4,65 \text{ A} = 0,2 \text{ Ohm}$. Na tranzistoru T je pak úbytek napětí $U_T = U_c - U_R = 3,5 \text{ V}$. Protože tranzistorem prochází proud 4,65 A, je na něm výkonová ztráta $P = U_T I_1 = 3,5 \text{ V} \cdot 4,65 \text{ A} = 16,5 \text{ W}$. Proud do zátěže je stabilizován; mění-li se zátěž, mění se i úbytek napětí U_T . Výstupní charakteristika zdroje se pak přibližuje charakteristice I na obr. 22, avšak pouze do té doby, dokud se napětí na výstupu zdroje (dané součinem I_c a odporu zátěže) nepřiblíží napětí U_V . Napětí U_V je na výstupních svorkách vždy, není-li k výstupu připojena zátěž,

Z hlediska teplotních poměrů na tranzistoru T je nejhorším případem stav, je-li na výstupních svorkách zdroje zkrat. Potom je $U_A = 0$ $U_c = U$; $U_T = U_c - U_R = 18 \text{ V} - 1,5 \text{ V} = 16,5 \text{ V}$. Na tranzistoru je výkonová ztráta $P = U_T I_1 = 16,5 \text{ V} \cdot 4,65 \text{ A} = 77 \text{ W}$. Použijeme-li jako T výkonový tranzistor např. KU 607, „vydrží“ tranzistor tento výkon po velmi krátkou dobu (má mezní dovolenou výkonovou ztrátu P_{tot} při okolní teplotě do 35 °C nejvíce 70 W).

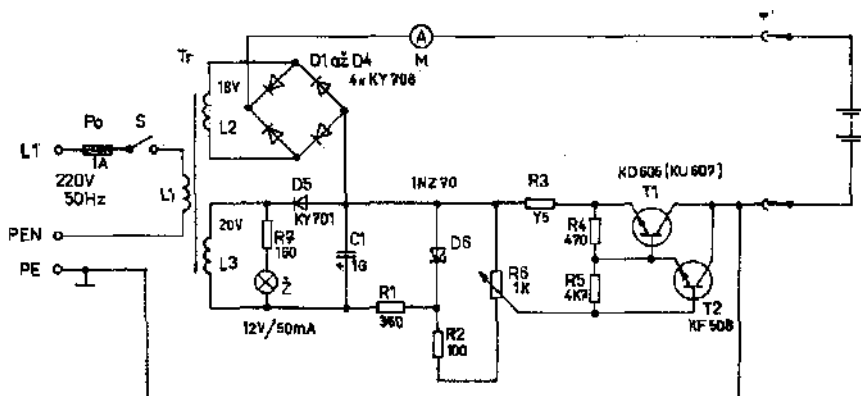
Většina zdrojů proudu je konstruována v zásadě podle uvedeného principu. Obvyklé je, že se výstupní proud přepíná hrubě změnou sériového odporu R_1 a jemně se nastavuje změnou napětí báze tranzistoru. Zdroj podle obr. 90 nemá dobré stabilizační vlastnosti. Rozdíl mezi proudem do zkratu a proudem do zátěže je u něho příliš velký. Při tomto zapojení se totiž uplatňuje velmi mnoho záporných vlivů, které činnost stabilizátoru narušují, jinak řečeno, ovlivňují průběh jeho charakteristiky (napětí na bázi, které má být konstantní, se mění v závislosti na napětí U_c , při výpočtu se neuvažovalo napětí U_{BE} , při větších proudech má tranzistor malé zesílení, takže se ani neotevře na potřebnou hodnotu apod.). Z uvedeného důvodu bývají obvykle zdroje konstantního proudu složitější, mají zesilovač velkým zesílením ve zpětnovazební smyčce a velmi stálé referenční napětí. Výhodou takto konstruovaných zdrojů je přesnost nastavení, dobrý činitel stabilizace

výstupního proudu apod. Používáme-li podobný zdroj k nabíjení akumulátorů, může být regulační součástka zdroje konstantního proudu ocejchována přímo v ampérech a nepotřebujeme tedy kontrolní ampérmetr, neboť zdroj dodává do akumulátoru v každém bodu nabíjecí křivky stále stejný, předem zvolený a nastavený proud.

Na obr. 91 a 92 jsou dva zdroje konstantního proudu, vhodné k nabíjení akumulátorů. Na obr. 91 je zdroj jednodušší, spíše jednoúčelový, vhodný k nabíjení šestivoltových a dvanáctivoltových akumulátorů. U nabíječe lze nastavit nabíjecí proud potenciometrem R_6 , a to v rozsahu 0,3 až 6 A. Princip činnosti tohoto nabíječe — zdroje konstantního proudu je obdobný činnosti zdroje z obr. 90.

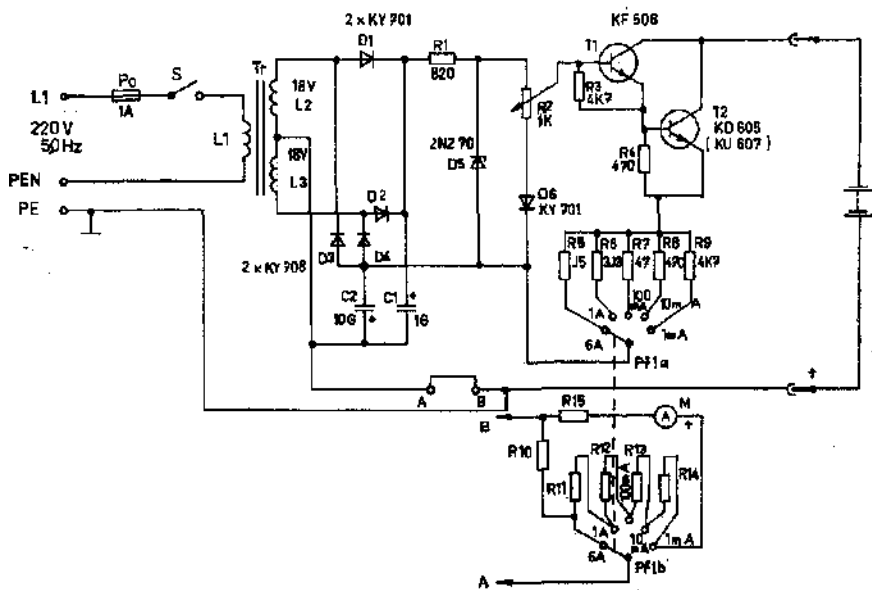
Síťový transformátor má na sekundární straně dvě vinutí, jedno pracovní k napájení vlastního zdroje (L_2 , 18 V/6 A) a jedno pomocné k vytvoření referenčního napětí (L_3 , 20 V/400 mA). Referenční napětí se získává na Zenerově diodě 1N270 (asi 6 V) po usměrnění střídavého napětí diodou D5. Odpojem R_2 lze vymezit rozsah regulace výstupního proudu, proud do akumulátoru při nabíjení lze regulovat potenciometrem R_6 . Umístíme-li pod hřídel potenciometru na panelu nabíječe stupnici (a ocejchujeme-li stupnici ve výstupních proudech), lze ze zapojení zcela vypustit ampérmetr. Proud lze nastavit se stejnou přesností, s níž ho dokážeme změřit běžným měřicím přístrojem (tj. asi 1%).

Tranzistory T_1 a T_2 jsou zapojeny jako Darlingtonova dvojice; z vnějšího pohledu lze tuto dvojici považovat za jeden tranzistor, jehož proudové zesílení h_{21E} je součinem proudového zesílení obou tranzistorů. Přiblíží-li se napětí na sběrném odporu R_3 velikosti napětí na bázi



Obr. 91. Tranzistorový zdroj konstantního proudu a jedním rozsahem

T_2 (referenční napětí Zenerovy diody na běžci potenciometru R_6), začne se tranzistor zavírat a proud do akumulátoru se zmenšuje. Úbytek napětí na odporu R_3 je úměrný procházejícímu proudu. Změnou odporu R_6 se mění napětí na bázi tranzistoru T_2 a tím se reguluje proud do akumulátoru.



Obr. 92. Tranzistorový zdroj proudu s pěti rozsahy proudu. V bodech AB lze obvod rozpojit a připojit ampérmetr M

Proti schématu na obr. 90 je u tohoto zapojení vyveden kolektor regulačního tranzistoru až na výstupní svorku nabíječe. To umožňuje uzemnit záporný vývod nabíječe na kostru (šasi) a chladič pro tranzistor T_1 může být součástí šasi nabíječe.

Největším konstrukčním problémem je velikost chladiče tranzistoru T_1 . Používáme-li nabíječ k nabíjení dvanáctivoltového akumulátoru, vzniká výkonová ztráta asi 36 W (orientačně 18 V - 12 V, tj. 6 V · 6 A). Při nabíjení šestivoltového akumulátoru vzniká výkonová ztráta asi 72 W. Při zkratu na výstupu je výkonová ztráta $P = 18 \text{ V} \cdot 6 \text{ A} = 108 \text{ W}$.

U dokončeného nabíječe musíme trvalý nabíjecí proud určit podle použitého typu tranzistoru a především podle jeho chladiče, který musí vyzářit teplo, které odpovídá ztrátě tranzistoru. Z tranzistorů

TESLA přicházejí v úvahu především tyto typy: KU 605 (50 W), KU 607 (70 W), KUY 12 (70 W), KD 501 až KD 503 (150 W) a KD 605 až KD 607 (70 W).

Seznam součástek pro nabíječ podle obr. 97

Transformátor

Tr plechy EI 40x40, 3 závity na jeden volt; vinutí L_1 (230 V) 630 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL, vinutí L_2 (18 V) 56 závitů drátu o průměru 1,8 mm CuL, vinutí L_3 (20 V) 63 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL

Polovodičové součástky

T_1 tranzistor KD 605 (KU 607)

T_2 tranzistor KF 508

D_1 až D_4 diody KY708

D_5 dioda KY701

D_6 Zenerova dioda 1N270

Odpory

R_1 TR 153, 360 Ohm

R_2 TE 151, 100 Ohm

R_3 vinutý, samonosný 0,5 Ohm

R_4 TR 151, 470 Ohm

R_5 TR151,4,7 kOhm

R_6 potenciometr lineární, TP 280, 1 kOhm

R_7 TR 153, 160 Ohm

Kondenzátor

C_1 TC 936, 1000 uF/25 V

Ostatní součásti

Ž telefonní žárovka 12 V/0,05 A

M ampérmetr 0 až 6 A

S spínač jednopólový

Po trubičková pojistka 1 A

Zdroj proudu s tranzistorem na obr. 92 je funkčně podobný, výstupní proud je však vyhlazován kondenzátorem C_2 . Referenční napětí ze Zenerovy diody se opět zavádí do báze regulačních tranzistorů, zapojených v Darlingtonově zapojení. Dioda D_6 slouží k teplotní kompenzaci referenčního napětí. Takto upravený nabíječ může sloužit jako univerzální zdroj konstantního proudu nejen k nabíjení různých typů akumulátorů a článků, ale i jako laboratorní zdroj k měření předního napětí polovodičových diod, tranzistorů, Zenerových diod a jako zdroj

pro „malou galvanizaci“ apod. Přepínačem $Př_1$ se přepínají odpory (snímací) v emitoru řídicího tranzistoru, čímž se hrubě přepíná rozsah regulace výstupního proudu. Zapojíme-li do přístroje i ampérmetr, je vhodné použít jako $Př_1$ dvoj segmentový přepínač (dvojpatrový) a druhým segmentem přepínat rozsahy ampérmetru. Všechna doporučení k výběru výkonových tranzistorů platí pro zapojení na obr. 92 stejně jako pro zapojení na obr. 91. Je zřejmé, že na menších proudových rozsazích může zdroj pracovat bez nebezpečí poškození i do zkratu

Seznam součástek pro nabíječ podle obr. 92.

Transformátor

Tr plechy EI 40x40, 3 závity na jeden volt; vinutí L_1 (220 V) 603 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL, vinutí L_2, L_3 (18 V) 56 závitů drátu o průměru 1,25 mm CuL

Polovodičové součástky

T_1	tranzistor KD 605 (KU 607)	D_3, D_4	diody KY 708
T_2	tranzistor KF 508	D_5	Zenerova dioda 2NZ70
D_1, D_2	diody KY701	D_6	dioda KY 701

Odpory

R_1 TR 152, 820 Ohm
 R_2 potenciometr lineární TP 280, 1 kOhm
 R_3 TR151, 4,7 kOhm
 R_4 TR 151, 470 Ohm
 R_5 vinutý, samonosný 0,5 Ohm
 R_6 vinutý samonosný 3,3 Ohm,
 R_7 TR 144, 47 Ohm
 R_8 TR 144, 470 Ohm
 R_9 TR 144, 4,7 kOhm
 R_{10} až R_{15} bočníky podle druhu ampérmetru

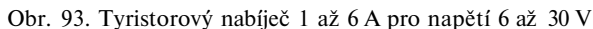
Kondenzátory

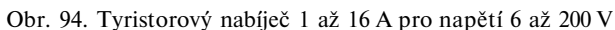
C_1 TC 530, 1000 uF/25 V
 C_2 TC 934, 10 000 uF/25 V

62. Tyristorové nabíječe s charakteristikou I

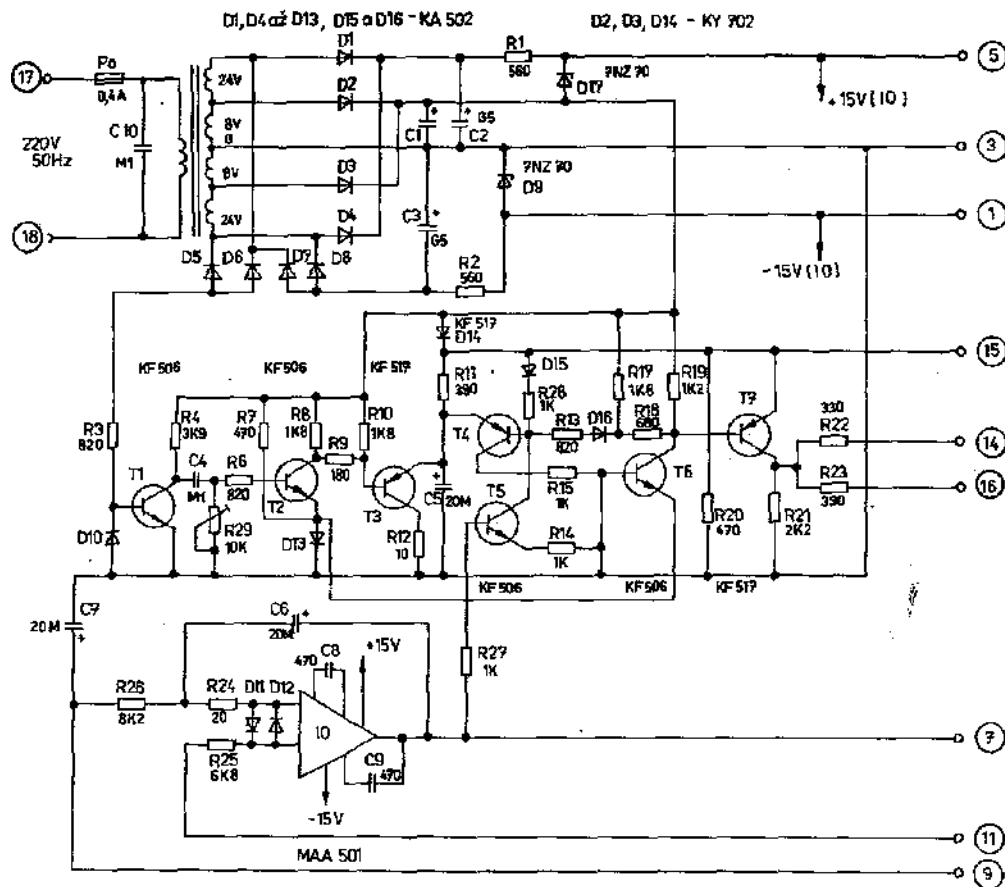
Mnohdy je třeba nabíjet několik akumulátorů zapojených do série. Jsou to např. baterie akumulátorových vozíků, různé staniční baterie akumulátorů nebo akumulátory v družstevních garážích apod. Dále popsanými přístroji lze nabíjet větší množství akumulátorů zapoje-

Tyristor je téměř bezztrátová součástka, která má pouze dva pracovní stavy — otevřen, zavřen. V zavřeném stavu jím neprochází žádný proud. Je-li otevřen, vede-li proud, je na něm úbytek napětí jako na




$$P = UI = 0,7 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 2,1 \text{ W}$$

Činnost nabíječe lze stručně popsat takto: střídavé napětí ze sekundárního vinutí transformátoru se přivádí na dva tyristory Ty_1 a Ty_2 , které plní úlohu usměrňovačů a regulátorů proudu. Článek RC připojený paralelně k tyristorům (C_4 , R_5 u Ty_1 a C_5 , R_4 u Ty_2) je tzv. plovoucí ochrana; zabraňuje zničení tyristoru přepětovými špičkami. Na omezovacím odporu R_6 se utváří při průchodu proudu do zátěže úbytek napětí. Tento úbytek se zavádí do vstupu 9 řídicího regulátoru. V regulátoru se porovnává s referenčním napětím, které se z běžce potenciometru R , přivádí na vstup 11 regulátoru. Řídicí regulátor je



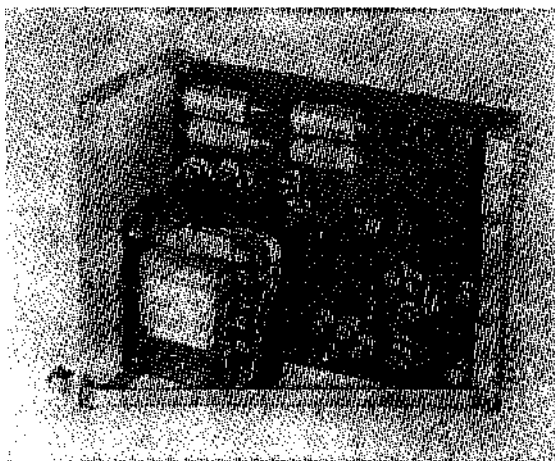
Obr. 95. Řídicí regulátor

zapojen ve větvi záporné zpětné vazby. Je-li kladné napětí na vstupu 11 větší než kladné napětí na vstupu 9, mají vstupní impulsy na výstupech 14 a 16 takovou fázi, že zcela otevřou tyristory. Naopak zvětší-li se napětí na R_6 tak, že napětí v bodu 9 bude kladnější než napětí na vstupu 11, posune se fáze řídicích impulsů pro tyristory tak, že se tyristory uzavřou. Z tohoto popisu činnosti vyplývá, že se výstupní proud mění změnou nastavení R_7 . Protože se v řídicím regulátoru používá operační zesilovač s velkým zesílením, je zpětná vazba velmi těsná a nastavený proud by měl být v celém rozsahu regulace přesně konstantní. Bohužel tomu tak zcela přesně není, neboť stejnosměrné napětí v bodu 9, které z hlediska zpětné vazby můžeme nazvat, napětím chybovým, není přesně úměrné efektivní velikosti procházejícího proudu. Kdybychom chtěli dosáhnout větší přesnosti nastaveného proudu, bylo by třeba použít ke snímání napětí z odporu takovou součástku, která by převedla nesinusové střídavé napětí na napětí stejnosměrné, úměrné efektivní hodnotě střídavého napětí.

Nabíječ na obr. 94 pracuje téměř shodně. Nabíječ nemá oddělovací transformátor a při nabíjení akumulátorů je třeba zajistit spoj výstup nabíječe — svorky akumulátoru tak, aby při manipulaci s akumulátorem byl nabíječ vždy odpojen od sítě. K řízení proudu do akumulátoru se používá stejný řídicí regulátor jako na obr. 93 se stejnou zápornou zpětnou vazbou.

Jako omezovací odpor pracuje R_7 , na němž se vytváří úbytek napětí, úměrný procházejícímu proudu. Potenciometr R_8 se nastavuje proud do nabíjecího akumulátoru. Tlumivka L_1 plní funkci omezovacího členu (její vzduchová mezera se nastavuje podle zkratového proudu při plně otevřených tyristorech, většinou vyhoví mezera kolem 0,5 mm). Zkratový proud omezený indukčností tlumivky by měl být maximálně 20 A.

Na obr. 95 je schéma řídicího regulátoru k řízení tyristorů. Celá jednotka je na desce s plošnými spoji včetně síťového transformátoru (obr. 96). Řídicí jednotka je určena k řízení spínacího úhlu tyristorů v rozmezí 5° až 85° . Vstupní napětí 220 V musí být ve stejné fázi jako napětí nebo proud, které chceme řídit. Napětí 2 X 24 V ze síťového transformátoru se dvojcestně usměrňuje, filtruje a slouží k napájení stabilizačních (Zenerových) diod 7NZ70 (D_{17} a D_9). Na výstupu je pak stabilizované napětí 15 V k napájení operačního zesilovače. Napájecí napětí pro regulační obvod s tranzistory T_1 až T_7 je nestabilizované. Filtrace kondenzátorem C_1 většinou nestačí a obvykle je třeba přidat vně jednotky další filtrační kondenzátor s velkou kapacitou (u nabíječe na obr. 93 je to kondenzátor C_7 , u nabíječe na obr. 94 kondenzátor C_6 oba 10 000 uF).



Obr. 96. Řídicí obvod podle schématu na obr. 95

Na bázi T_1 je dvojcestně usměrněné napětí, z něhož se vytvářejí řídicí impulsy. Dioda D_{10} chrání přechod báze — emitor tranzistoru před zápornými špičkami napětí. Odpor R_3 omezuje proud do báze T_1 . Na kolektoru T_1 se vytvářejí impulsy o šířce menší než 1 ms a o napětí 10 V.

Kondenzátor C_5 se nabíjí přes odpor R_{11} . Vždy po příchodu impulsu na bázi T_3 se tento tranzistor otevře a kondenzátor C_5 se přes něj vybije, takže na C_5 vznikají impulsy pilovitého průběhu o šířce 10 ms, synchronizované s kmitočtem sítě. Přejde-li z výstupu integrovaného zesilovače na bázi T_5 kladné napětí, T_6 se začne otevírat. Napětím z jeho kolektoru se otevírá i T_4 , který plní úlohu porovnávacího členu — porovnává úroveň impulsů pilovitého průběhu na C_5 s napětím na bázi T_5 . Na kolektorových odporech R_{15} a R_{16} je impuls, jehož přední hrana se posouvá úměrně se stejnosměrným napětím na bázi, tedy úměrně se změnami kladného napětí na výstupu integrovaného operačního zesilovače. Výstupní impuls z T_4 se upravuje tranzistorem T_6 . V emitoru tohoto tranzistoru je dioda D_{13} , která pracuje jako referenční dioda, neboť je zapojena v propustném směru a je na ní konstantní úbytek napětí asi 0,7 V. Tranzistor T_7 je výkonový. Odpory R_{22} a R_{23} omezují proud do řídicích elektrod tyristorů. Vyžadují-li tyristory větší proud do řídicí elektrody, lze oba odpory zmenšit a tranzistor T_7 zatížit až na povolenou výkonovou ztrátu.

Na výstupech 14 a 26 jsou (proti bodu 3) kladné impulsy o napětí + 10 V, šířky do 10 ms a s posunovatelnou přední hranou v závislosti na výstupním napětí zesilovače. Je-li třeba galvanicky oddělit řídicí

elektrody tyristorů, je možné na výstupy 14 a 26 připojit impulsní transformátor.

Operační zesilovač má dva vstupy, na jeden z nich lze přivést referenční porovnávací napětí a na druhý chybový signál. Kondenzátor C_6 je zapojen ve větvi záporné zpětné vazby integrovaného operačního zesilovače, takže působí jako integrační člen. Stabilizované napětí +15 V (vyvedené na svorku 5) se používá jako referenční napětí ve větvi zpětné vazby.

Seznam materiálu pro nabíječ podle obr. 93

Transformátor

Tr plechy EI 40x40; primární vinutí (220 V) — 620 závitů drátů o průměru 0,63 mm CuL, sekundární vinutí (2x35 V) — 2x x 110 závitů drátu o průměru 1,25 mm CuL (3 závity na jeden volt)

Tyristory

Ty₁, Ty₂ KT 702 (KT 703 až KT 705)

Odpory

R₁ podle požadovaného rozsahu regulace

R₂ potenciometr lineární TP 280, 1 kOhm

R₃ TR 152, 180 Ohm

R₄, R₅ TR 636, 33 Ohm

R₆ samonosný, navinut odporovým drátem, 2 Ohm

R₇ TR 151, 1,5 kOhm

Kondenzátory

C₁ 10 000 uF/12 V

C₂ 500uF (uF/12 V

C₃ TC 280, 1 uF

C₄, C₅ TC 180, 10 uF

C₆ 100 uF/12 V

Nabíječ podle obr. 94

Tlumivka

Tl EI 40 X 40, mezera mezi plechy E a I nastavena tak, aby maximální proud nabíječe byl 20 A; tlumivka má 50 závitů drátu o průměru 2 mm CuL

Polovodičové součástky

D₁, D₂ diody KY 719

Ty₁, Ty₂ tyristory KT 705

Odpory

R_1 drátový samonosný, 3 Ohm

R_2 TR 151, 1,5 kOhm

R_3 TP 280, 1 kOhm, lineární potenciometr

R_4, R_5 TR 636, 33 Ohm

R_6 podle požadovaného rozsahu regulace

R_7 TR 151, 1 MOhm

Kondenzátory

C_1 10 000 uF/12V

C_2 500 uF/12 V

C_3, C_4 1 uF/450 V

C_5 100 uF/12 V

Řídící regulátor (obr. 95)

Transformátor

Tr plechy EI 25x25; primární vinutí R_1 (230 V) — 1620 závitů drátu o průměru 0,25 mm CuL, vinutí L_2, L_5 (2x16 V) — 2x127 závitů drátu o průměru 0,25 mm CuL, vinutí L_3, L_4 (2 x 8 V) — 2 X 63 závitů drátu o průměru 0,4 mm CuL

Polovodičové součástky

D_1, D_4 až D_8, D_{10} až D_{13}, D_{15}, D_{16} diody KA 502

D_2, D_3, D_{14} diody KY 702

D_9, D_{17} Zenerovy diody 7NZ70

$I0$ integrovaný operační zesilovač MAA 501

T_1 a T_2, T_6 a T_6 tranzistor KF 506

T_3, T_4, T_7 tranzistory KF 517

Odpory

R_1, R_2 TR 152, 560 Ohm

R_3, R_6, R_{13} TR 151, 820 Ohm

R_4 TR 151, 3,9 kOhm

$R_5, R_{14}, R_{15}, R_{27}, R_{28}$ TR 151, 1 kOhm

R_7 TR 151, 470 Ohm

R_8, R_9, R_{16}, R_{17} TR 151, 1,8 kOhm

R_9 TR 151, 180 Ohm

R_{11} TR 151, 390 Ohm,

R_{12} TR 112, 10 Ohm

R_{18} TR 151, 680 Ohm

R_{19} TR151, 1,2 kOhm

R_{20} TR 152, 470 Ohm,

R_{21} TR 151, 2,2 kOhm

R_{22}, R_{23} TR 152, 330 Ohm
 R_{24} TR 152, 20 Ohm
 R_{25} TR 151, 6,8 kOhm
 R_{26} TR 151, 8,2 kOhm
 R_{29} odporový trimr 10 kOhm

Kondenzátory

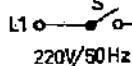
C_1 2 x TE 984, 1000 uF (v PVC)
 C_2, C_3 TE 986, 500 uF (v PVC)
 C_4 TK 782, 0,1 uF
 C_5, C_6, C_7 TE 984, 20 uF
 C_8, C_9 TO 281, 470 uF
 C_{10} TC 195, 0,1 uF

63. Nabíječ s triakem v primárním vinutí transformátoru

Na obr. 97 je nabíječ určený k nabíjení olovených dvanáctivoltových akumulátorů. Počáteční nabíjecí proud lze nastavit plynule v rozsahu 0,5 až 10 A. Nabíječ má automatické ukončení konce nabíjení odvozené od konečného napětí akumulátoru. Nabíjecí charakteristika je klesající typu Wc. Konec nabíjení je kromě signalizace ampérmetrem ještě indikován žárovkou Z. Nabíječ má obvod chránící nabíječ před poškozením při nesprávně připojeném nabíjeném akumulátoru.

Sílový obvod bez regulace tvoří tyto součástky: Síťové napětí 220 V se přivádí přes pojistku Po, vypínač S na tlumivku Tl, regulační triak a primární vinutí síťového transformátoru Tr₁. Na sekundárním vinutí tohoto transformátoru je můstkový usměrňovač tvořený diodami D₅ až D₈, proud pak prochází přes bočník ampérmetru, tyristor Ty přímo na kladný pól nabíjeného akumulátoru. Proud se plynule nastavuje potenciometrem P₁, kterým se mění konstanta RC tvořená součástkami P₁, R₄, C₁. Fázově zpožděné pulsující napětí se přivádí do emitoru tranzistoru T₁. Tranzistory T₁ a T₂ toto napětí formují a přes oddělovací transformátor Tr₂ se přivádí přímo na řídicí elektrodu triaku D₉. Rozsah regulace se upravuje změnou pevného odporu R₄. Tlumivka TJ a kondenzátor C₂ s odporem R₅ tvoří odrušovací členy.

Proud procházející do akumulátoru se měří přístrojem M, který lze přepnout přepínačem Př₁ buď jako ampérmetr (poloha A), nebo jako voltmetr (poloha B). Tyristor Ty slouží jako spínací člen. Vzroste-li napětí na výstupu na úroveň nastavenou trimrem P₂, tranzistory T₃ a T₄ se uzavřou a tyristor Ty přestane vést proud. Začne svítit žárovka Z, která signalizuje konec nabíjení. Při připojo-



Obr. 97. Nabíječ s triakovou regulací v primárním vinutí transformátora

vání úplně nového akumulátoru je třeba stisknout tlačítko T1, aby proud akumulátorem začal vůbec procházet. Je to proto, že pokud je na výstupu připojen akumulátor, který nemá žádné napětí, tyristor Ty se vůbec regulací neotevře. Dioda D_{11} spolu s relé R1 zabezpečuje nabíječ před chybným připojením akumulátoru. Pokud není relé R1 sepnuto, tyristor Ty se neotevře. Tato ochrana se bohužel odepíná stisknutím tlačítka T1. Proto je třeba tlačítko umístit mimo přední panel a stisknout ho až po úvaze.

Rozpiska součástek pro nabíječ podle obr. 97.

Transformátor Tr_1 - 300 VA - 230 V/24 V

Transformátor Tr_2 — 2 x 100 závitů o průměru drátu 0,3 mm, ferit z hmoty E8

Tlumivka T1 — 40 závitů o průměru drátu 1,2 mm, ferit E8

T_1, T_3 KF 517

T_2, T_4 KF 608

D_1 až D_4 KY704

D_5 až D_8 KY708

D_9 triak KT 784

D_{10}, D_{11} KY 130/80 nebo KA 503, KY 701

Ty tyristor KT 701

R_1 TR 512, 12 kOhm/10 W

R_2, R_3 TR 151, 1,2 kOhm

R_4 TR 151, 68 kOhm

R_5 TR 161, 100 Ohm

R_6 TR112, 33 Ohm

R_7 TR 151, 470 Ohm

R_8 TR 151, 150 Ohm

R_9 TR 151, 1,8 kOhm

P_1 TP 280, 250 kOhm

P_2 drátový potenciometr 10 kOhm

C_1 TC 180, 100 nF

C_2 TC 183, 100 nF

C_3 TE 987, 50 uF/35 V

R1 jazýčkové relé HU 140 110

64. Automatický nabíječ pro dvanáctivoltové akumulátory

Dále popisovaný nabíječ (obr. 98) je elektronicky poměrně složitý, energeticky málo výhodný, ale má jednu podstatnou výhodu. Je to úplný automat. O průběh nabíjení se nemusíme starat a také nás nemusí zajímat stupeň nabití akumulátoru před jeho připojením k nabíječi.

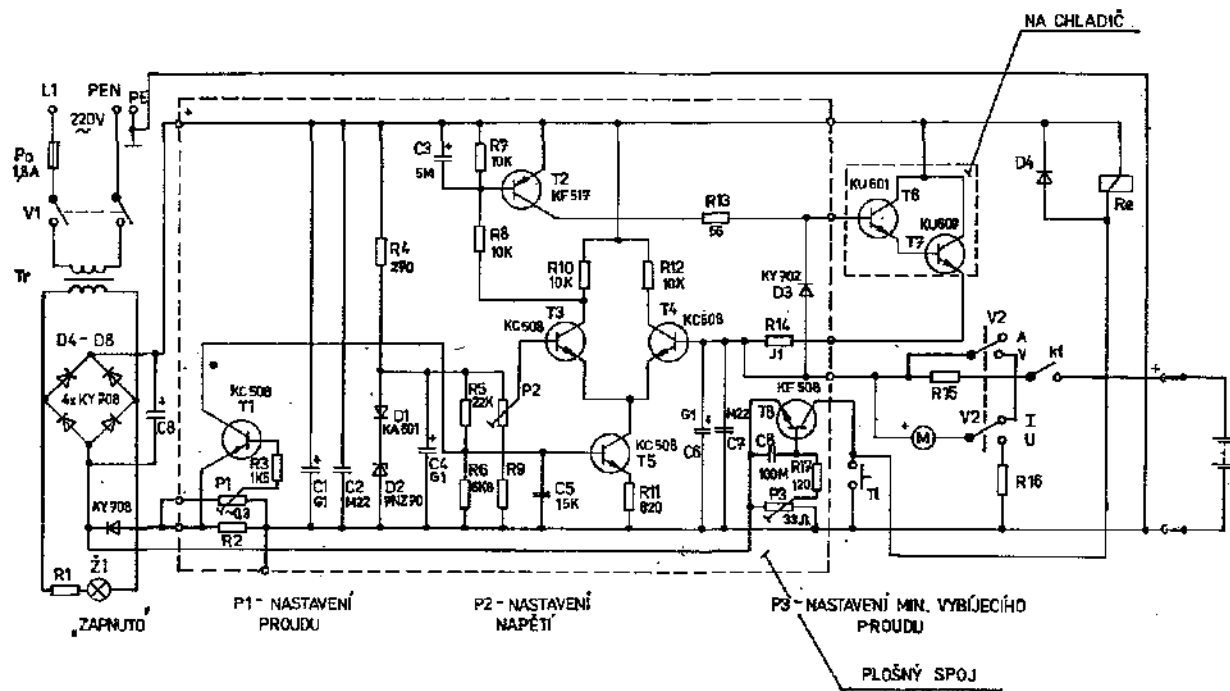
Principem se nabíječ podobá profesionálním nabíječům TAN 250 a TAN U, jejichž činnost je v závěru publikace také ve stručnosti popsána. Nabíječ je zdrojem stabilizovaného napětí (nastavitelného potenciometrem P_2) s proudovým omezením (nastavitelným potenciometrem P_1). Lze to samozřejmě chápat i obráceně, tj. jako proudový zdroj s napěťovým omezením.

Po připojení akumulátoru k nabíječi prochází po dobu T_1 nastavený nabíjecí proud. Jakmile však napětí na svorkách akumulátoru vlivem nabití vzroste na 14,4 V, což je velikost napětí nastavená potenciometrem P_2 , začne se proud do akumulátoru zmenšovat. Při uvedeném napětí začíná olovený akumulátor plynout. Proud se zmenšuje přibližně exponenciálně a když dosáhne nastavené velikosti potenciometrem P_3 , odpadne kontakt relé Re a přeruší se nabíjecí obvod. Zároveň se přes klidový kontakt k_2 rozsvítí žárovka Z_2 signalizující konec nabíjení.

Všechny tři potenciometry jsou umístěny pod panelem a lze je ovládat pouze šroubovákem. Tento způsob umístění potenciometrů vyhovuje nejlépe, používáme-li nabíječ pro jeden typ akumulátoru. Lze jej používat i pro akumulátory alkalické a stříbrozinkové, kde je zvláště výrazná ta výhoda, že napětí nemůže stoupnout nad určitou mez. Pokud bude nabíječ použit pro akumulátory s nižším napětím, doporučujeme udělat na transformátoru odbočky (např. pro šestivoltový akumulátor odbočku uprostřed vinutí). Zmenšíme tak zatížení regulačních tranzistorů (zejména $T7$) a můžeme příslušně zvětšit nabíjecí proud.

Činnost nabíječe je patrná ze schématu na obr. 98. Napětí z transformátoru Tr je usměrněno čtyřmi běžnými usměrňovacími diodami. Napětí není třeba pro účely nabíječe filtrovat. Pokud bychom však chtěli nabíječ používat také jako zdroj pro jiné účely, je možné připojit kondenzátor C_g , který je ve schématu vyznačen čárkovaně.

Zapojení vlastního regulátoru je jednoduché. Na jeden vstup diferenciálního zesilovače je přivedeno chybové napětí (báze $T4$) a na druhý vstup (báze $T3$) stabilizované napětí z diody D_2 . Jakmile se výstupní napětí zmenší, otevře se tranzistor $T3$. Ten pak přes odpor R_8 přivede zápornější napětí na T_2 , který otvírá výkonový stupeň, tvo-



Obr. 98. Automatický nabíječ pro olověné baterie 12 V

řený tranzistory T_6 a T_7 v Darlingtonově zapojení. Tímto způsobem se udržuje na výstupních svorkách stabilizované napětí, nastavené potenciometrem P_2 . Na odporu R_2 vzniká úbytek napětí úměrný procházejícímu proudu. Proud odporem R_2 je totožný s nabíjecím proudem do akumulátoru. Jakmile úbytek napětí na odporu R_2 dosáhne určité velikosti (nastavitelné potenciometrem P_1), otevře se tranzistor T_7 . Ten přes T_5 uzavře diferenciální zesilovač a tranzistory T_6 a T_7 se začnou přivírat. Při zkratu nebo malém zatěžovacím odporu prochází svorkami proud, jehož velikost určuje poloha běžce P_1 . V této fázi činnosti je napěťová stabilizace vyřazena. Jakmile však na akumulátoru (nebo jiné zátěži) stoupne napětí na úroveň nastavenou potenciometrem P_2 , vyřadí se proudová stabilizace.

Nabíječ ještě hlídá minimální nabíjecí proud do akumulátoru. Úbytek napětí na odporu R_2 se přivádí současně na potenciometr P_3 a tímto potenciometrem lze nastavit bod otevření tranzistoru T_8 . Po připojení akumulátoru k nabíječi je třeba po sepnutí síťového spínače ještě stisknout na okamžik tlačítko $T1$, kterým spojíme druhý konec relé k zápornému napětí, takže relé sepne. Přes kontakt k_1 tohoto relé prochází do akumulátoru nabíjecí proud. Relé zůstane po uvolnění tlačítka sepnuté, protože se otevřel tranzistor T_8 . Toto relé odpadne a rozpojí nabíjecí okruh tehdy, až proud do akumulátoru poklesne vlivem nabití akumulátoru. Diody D_3 a D_4 jsou ochranné diody, zapojené opačně, které zkratují záporné napěťové špičky. Odpor R_{15} je bočník měřidla M (v zapojení jako ampérmetr) a odpor R_{16} je předřadný odpor (pokud je M použit jako voltmetr).

Postup při nabíjení

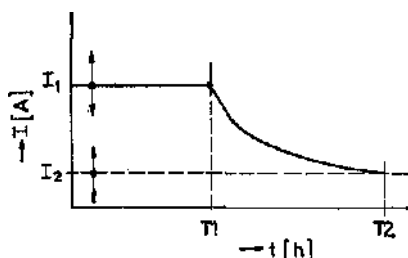
Po připojení nabíječe k síti a zapnutí V_1 přepneme měřidlo M přepínačem $Př$ do polohy U . Je-li výstupní napětí správné (nastaveno napětí 14,4 V pro olověný dvanáctivoltový akumulátor), připojíme akumulátor.

Přepínač $Př$ přepneme do polohy I , takže nyní měřidlo ukazuje nabíjecí proud, a stiskneme tlačítko $T1$. Zkontrolujeme, popř. nastavíme potenciometrem P_1 nabíjecí proud. V případě, že je proud malý, přesvědčíme se, zda není akumulátor nabit natolik, že jeho napětí dosáhlo velikosti nastavené potenciometrem P_2 . V tomto případě se již nachází nabíjecí proud v oblasti mezi časy T_1 a T_2 podle nabíjecí křivky na obr. 99.

Všechny součásti uvnitř přerušované čáry jsou umístěny na desce plošného spoje. Usměrnovací diody D_4 až D_8 jsou na chladiči. Důležité je správné chlazení tranzistorů T_6 a T_7 . Výkonovou ztrátu na tran-

zistoru odhadneme takto: Napěťový úbytek na tranzistorech je rozdíl mezi napětím na kondenzátorech C_1 a C_2 a napětím na akumulátoru. V nejnepříznivějším případě je akumulátor zcela vybit. Tento úbytek násobíme maximálním dovoleným proudem. Takto získanou výkonovou ztrátu $P = U I$ musíme chladiči odvést.

Obr. 99. Průběh nabíjecí charakteristiky (nabíjecího proudu) nabíječe z obr. 98, kde vypínání probíhá jako odvozené od minimálního nabíjecího proudu, I_1 je proud nastavený potenciometrem P_1 a I_2 proud vypínací, nastavený potenciometrem P_3



Při použití součástek uvedených v rozpisce a na schématu obr. 981 dosahuje nabíječ těchto parametrů (pro akumulátor olověný dvanáctivoltový): plynule nastavitelný proud 0,5 až 6 A
vypínací proud nastavitelný od 500 mA výše
napěťové omezení nastavitelné od 10 až 15 V.

Rozpiska součástek pro nabíječ podle obr. 84:

Transformátor

Tr plechy EI 40x40, 3 závity na jeden volt; vinutí L_1 (230 V) 630 závitů drátu u průměru 0,5 mm CuL, vinutí L_2 (18 V) 56 závitů drátu o průměru 1,8 mm CuL

Polovodičové součástky

T_1, T_3, T_4 a T_5 tranzistor KC 508

T_2 tranzistor KF 517

T_6 tranzistor KU 601

T_7 tranzistor KU 607

T_8 tranzistor KF 508

D_1 dioda KA 501

D_2 Zenerova dioda 7NZ70

D_3 dioda KY 701

Kondenzátory

C_{1t} , C_{4t} , C_6 a G_8 TE 968, 100 uF/35 V

G_{2t} , C_7 TC 180, 220 nF

C_3 TE 984, 5 uF/15 V

C_5 TC 180, 15 nF

Potenciometry

P_1 a P_3 drátový TP 680/33 Ohm

P_2 trimr TP 011/10 kOhm

Odpory

R_1 předřadný odpor k žárovce (podle použité žárovky)

R_2 vinutý odpor (0,5 mm průměr kantalového drátu) 0,3 Ohm

R_3 TR 151, 1,5 kOhm

R_4 TR 152, 270 Ohm

R_5 TR 151, 22 kOhm

R_6 TR 151, 6,8 kOhm

R_7 , R_8 , R_{10} a R_{12} TR 151, 10 kOhm

R_{11} TR 151, 820 Ohm

R_{13} TR 506, 56 Ohm

R_{14} vinutý odpor (0,5 mm průměr kantalového drátu) 0,1 Ohm

R_{15} bočník měřidlu M

R_{16} předřadný odpor k měřidlu M

R_{17} TR 151, 120 Ohm

Ostatní součástky

Po síťová trubičková pojistka 0,8 A

V_1 síťový vypínač

Př přepínač pro měřidlo M

Ž žárovka s objímkou (24 V/0,05 A)

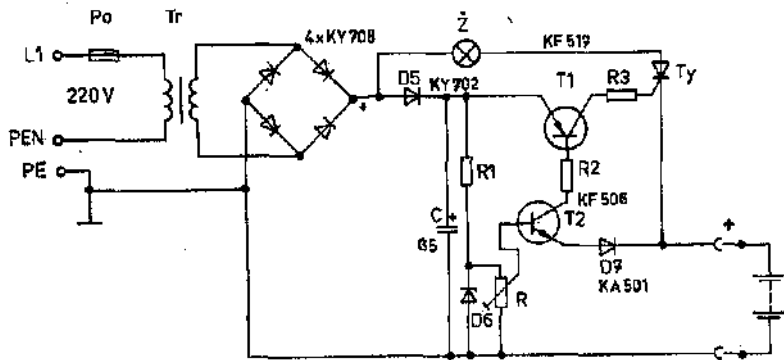
Re relé RP 100 (stejnoseměrné napětí 20 V/10 mA)

65. Tyristorový nabíječ s napětovým omezením nabíjení

Na obr. 100 je další typ nabíječe pro akumulátory. Zapojení lze realizovat pro napětí 6, 12 i 24 V. Součástky pro příslušné napětí jsou přehledně uvedeny v tab. 17. Maximální proud, který lze z nabíječe odebírat, je asi 2 A.

Napětí ze síťového transformátoru je usměrněno můstkovým usměrňovačem s diodami D_1 až D_4 a přivedeno přes žárovku Ž na anodu tyristoru. Prochází-li proud z běžce potenciometru směrem k výstupním svorkám, tzn. je-li výstupní napětí spolu s úbytky na diody D_7 a

na přechodu báze-emitor tranzistoru T_2 menší, než je napětí na běžci potenciometru, jsou tranzistory T_1 a T_2 otevřeny a řídicí elektrodou tyristoru prochází proud. Tyristor je otevřen a do nabíjeného akumulátoru prochází proud, jehož velikost je omezena odporem vlákna žá-



Obr. 100. Tyristorový nabíječ s napěťovým omezením

rovky asi na 2 A. Při nastavování potenciometru je třeba znát konečné napětí nabíjeného akumulátoru — potenciometr nastavíme tak, aby toto napětí nebylo při nabíjení překročeno. Známe-li napětí na přechodu báze — emitor tranzistoru T_2 a úbytek napětí na diodě D7,

Tabulka 17. Součástky pro různá napětí akumulátorů, nabíjených nabíječkou podle obr. 100

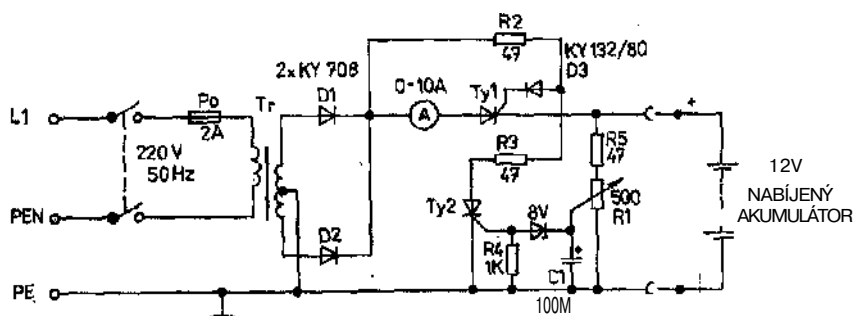
Akumulátor	6 V	12 V	24 V
U [V]	10	17	24
R1 [Ohm]	100	200	200
R2 [Ohm]	330	560	1000
R3 [kOhm]	0,56	1	1,5
R [kOhm]	1	1	5
D ₄	4NZ70	7NZ70	KZ799
Ž	6 V/16 W	12 V/25 W	12 V/25 W

nastavíme běžec potenciometru tak, aby na něm bylo napětí větší o tyto dvě dílčí napětí. Potenciometr lze nastavit i tak, že připojíme nabíječ k nabitému akumulátoru a potenciometr nastavíme tak, aby do akumulátoru neprocházel žádný proud.

Po připojení nabíječe k vybitému akumulátoru prochází akumulátorem nabíjecí proud, který je omezen žárovkou a napětí na akumulátoru se zvětšuje. Během každé půlperrody se proud obvodem přerušuje, avšak obvody tranzistorů uvedou tyristor opět do vodivého stavu. Blíží-li se napětí akumulátoru napětí, které odpovídá nastavení běžce potenciometru, posouvá se okamžik sepnutí tyristoru směrem ke špičce průběhu střídavého napětí, až konečně proud do akumulátoru přestane procházet a nabíjení je ukončeno. Kondenzátor C musí být dimenzován na vrcholové napětí na sekundárním vinutí transformátoru.

66. Nabíječ s tyristorovým ochranným obvodem

Na obr. 101 je schéma nabíječe, který (podobně jako tomu je u nabíječe s napěťovým omezením na obr. 100) zabráni po dosažení určitého napětí na akumulátoru dalšímu nabíjení. Následuje-li opět pokles napětí akumulátoru (ať již samovybitím nebo běžným provozem), začne se akumulátor opět samočinně nabíjet.



Obr. 101. Nabíječ s tyristorovým ochranným obvodem

Transformátor Tr je chráněn na primární straně pojistkou 2 A. Diody D_1 a D_2 usměrňují dvojcestně nabíjecí proud, který je měřen ampérmetrem s rozsahem 10 A. Tyristor Ty_1 je po připojení nabíječe k vybitému akumulátoru otevřen proudem procházejícím odporem R_2 a diodou D_3 v propustném směru. Napětí nabíjeného akumulátoru je připojeno k děliči, složenému z odporů R_5 a R_1 . Běžcem R_1 nastavíme takové napětí, aby po nabití akumulátoru (po dosažení určitého svorkového napětí) začal působit ochranný obvod proti přebíjení. Tento obvod se skládá ze Zenerovy diody (8 V) a tyristory Ty_2 . Po dosažení uvedeného napětí akumulátoru začne Zenerovou diodou procházet

proud do řídicí elektrody tyristoru Ty_2 a tyristor spíná. Začne procházet proud v obvodu R_2 , R_3 a Ty_2 a uzavře se tyristor Ty_1 . Transformátor Tr musí být navržen tak, aby odpor primárního a sekundárního vinutí spolu se ztrátami v transformátoru zamezil zvětšení proudu nad 10 A při vybitém akumulátoru. Musí mít tedy vlastnosti¹ transformátoru, který byl popsán v kapitole Nabíječ bez vnějších odporů.

Při používání tohoto nabíječe je třeba nejdříve nastavit běžcem potenciometru napětí, při kterém má dojít k přerušení dalšího nabíjení, tj. sepnutí tyristoru T_2 . Provedeme to nejlépe tak, že vytočíme potenciometr do horní poloviny běžce a necháme nabíjet akumulátor. Přitom sledujeme napětí na akumulátoru vnějším měřidlem a kontrolujeme jeho správné nabití. Správné nabití lze také určit jiným způsobem podle příznaků uvedených na počátku této publikace. Po správném nabití akumulátoru nastavíme citlivě běžec potenciometru do polohy, při níž přestane ampérmetrem procházet nabíjecí proud. Pokud budeme přístrojem nabíjet několik druhů akumulátorů, označíme potřebné polohy na stupnici pod Šipkou potenciometru. Budeme-li používat nabíječ pouze pro jediný typ akumulátoru, je výhodnější použít místo potenciometru odpor s odbočkou, který umístíme pod kryt nabíječe a pomocí odbočky nastavíme potřebnou velikost odporu.

Použité součástky pro nabíječ podle obr. 101

Transformátor

Tr plechy EI 40x40, primární vinutí (220 V) 630 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL, sekundární vinutí 53 závitů drátu o průměru 2,2 mm CuL

Polovodičové součástky

D_1 , D_2 diody KY 708
 D_3 dioda KY 132/80
 D_4 Zenerova dioda 3NZ70
 Ty_1 tyristor KT 701
 Ty_2 tyristor KT 501

Odpory

R_1 potenciometr lineární 500 Ohm, 2W
 R_2 , R_3 , R_5 odpor drátový 47 Ohm, 2W
 R_4 odpor vrstvý TR 144, 1 kOhm

Kondenzátor

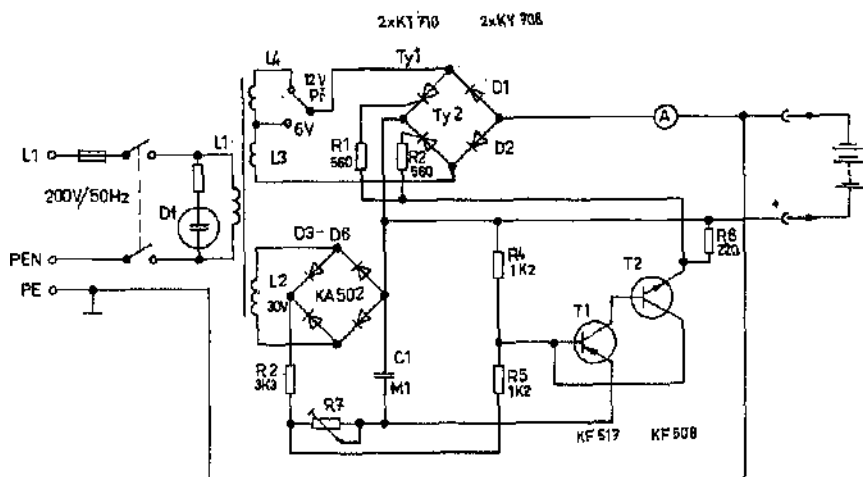
C_1 kondenzátor elektrolytický 100 uF/25 V

Měřicí přístroj

A ampérmetr 0 až 10 A

67. Nabíječ s jednoduchou tyristorovou regulací proudu

Nabíječ je určen pro nabíjení šestivoltových a dvanáctivoltových akumulátorů proudem 0,5 až 6 A. Proud lze plynule regulovat potenciometrem R_7 . Při vzrůstajícím, napětí akumulátoru se proud nabíječe zmenšuje. Akumulátor se nabíjí podle křivky W (obr. 33). Stupeň nabití je třeba kontrolovat hustoměrem nebo voltmetrem.



Obr. 102. Schéma nabíječe s jednoduchou tyristorovou regulací

Funkce je jednoduchá a patrná ze schématu na obr. 102. V Graetzově můstku, který tvoří diody D_1 a D_2 spolu s tyristory Ty_1 a Ty_2 , se napětí ze sekundárního vinutí transformátoru usměrňuje a řídí se velikost proudu. Tyristory se otevírají kladnými, fázově posunovatelnými impulsy, které jsou přivedeny z emitoru T_2 přes omezovací a vyrovnávací odpory R_1 a R_3 . Fázové posunutí vytváří člen tvořený kondenzátorem R_7 . Otáčením R_7 se zpoždění impulsů mění a řídí se tak velikost nabíjecího proudu.

Maximální proud nabíječe je omezen pouze velikostí dovoleného proudu v propustném směru použitých diod a tyristorů a schopností transformátoru tento proud dodat.

Pokud chceme nabíječ používat pro šestivoltové i dvanáctivoltové akumulátory, je třeba mít na sekundárním vinutí transformátoru odbočku (9 V) a přepínačem Př přepínat polohy A (dvanáctivoltový akumulátor) nebo B (šestivoltový akumulátor).

Rozpiska součástek

Transformátor

Tr plechy EI 40x40; vinutí L_1 (230 V) 630 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL, vinutí L_2 (50 V) 160 závitů drátu o průměru 0,5 mm CuL, vinutí L_3 (9 V) 28 závitů drátu o průměru 1,8 mm CuL a vinutí L_4 (9 V) 28 závitů drátu o průměru 1,8 mm CuL

Polovodičové součástky

D_1, D_2 dioda KY 708

D_3 až D_6 dioda KA 502

Ty_1, Ty_2 tyristor KT 710

T_1 tranzistor KF 517

T_2 tranzistor KF 608

Kondenzátory

C_1 TC 180, 100 nF

Odpory

R_1, R_3 TR 151, 560 Ohm

R_2 TR 151, 3,3 kOhm

R_4, R_5 TR 161, 1,2 kOhm

R_6 TR 152, 220 Ohm

Potenciometr

R_7 TP 280, 250 kOhm

Ostatní součástky

S síťový vypínač

Př přepínač (5 A) dvojpohový

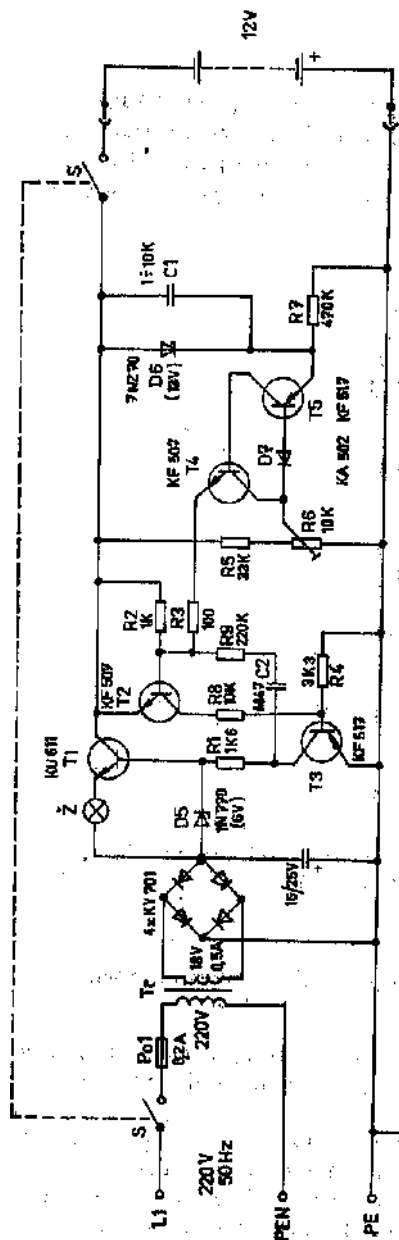
Dt indikační doutnavka s odporem

A ampérmetr 0 až 10 A

68. Automatický nabíječ malých akumulátorů

K nabíjení malých dvanáctivoltových akumulátorů nabíjecím proudem 0,05 až 0,5 A lze použít zapojení podle obr. 103 [31],

Zapojení obvodu stabilizace proudu je obdobné jako v tranzistorovém nabíječi podle obr. 90. Odpor R je zde nahrazen žárovkou Z , která má příznivější průběh VA charakteristiky pro účely proudové stabilizace než činný odpor. Při změně procházejícího proudu žárovkou vzniká na odporu vlákna žárovky větší změna napětového úbytku (viz



Obr. 103. Automatický naladěč malých baterií

charakteristiky na obr. 58). Současně je zde žárovka využita k indikaci průběhu nabíjení.

Tranzistor T_1 řídí svým vnitřním odporem velikost nabíjení proudu tak, aby napětí na žárovce Z bylo stejně velké jako napětí na Zenerově diodě D_5 , zmenšené o napětí U_{BE} tranzistoru. Z toho vyplývá, že velikost nabíjecího proudu je typem žárovky určena a nabíjecí proud lze změnit výměnou žárovky nebo Zenerovy diody D_5 . Nabíječ tedy předpokládá používání předem určeného nabíjecí proudu. V určitém rozsahu lze měnit nabíjecí proud proměnným odporem, který zapojíme paralelně k žárovce.

Nabíjecí proud se automaticky odpojuje takto: Z připojeného akumulátoru se nabíjí přes odpor R_7 kondenzátor C_1 . Tento kondenzátor se nabíjí až na velikost Zenerova napětí diody D_6 . Pokud nepřesáhne napětí na nabíjeném akumulátoru určitou velikost, projde proud z nabitého kondenzátoru C_1 v obvodu báze T_5 a tento tranzistor se otevře. Mezní napětí, při kterém takto prochází proud, lze nastavit potenciometrem R_6 . Přes tranzistor T_5 se otevírá také tranzistor T_4 a kondenzátor C_1 se rychle vybíjí. Potom se oba tranzistory zavírají a dochází k opětovnému nabití kondenzátoru C_1 . Děj se trvale opakuje. Velikost kapacity kondenzátoru je třeba vybrat tak, aby opakovací kmitočet byl v rozmezí 300 až 500 Hz. Odpor R_7 není vhodné zmenšovat.

Proud z emitoru tranzistoru T_4 ovládá multivibrátor (komplementární dvojice tranzistorů T_2 a T_3), který má časovou konstantu podstatně větší než je $C_1 R_7$, a proto zůstává i při vybití kondenzátoru C_1 otevřen tranzistor T_3 . Přes tento tranzistor prochází proud do Zenerovy diody D_5 a současně prochází i nabíjecí proud. Pokud je nabíjený akumulátor připojen k nabíječi opačně, nedostává multivibrátor impulsy a tranzistor T_1 zůstává uzavřen.

Jakmile napětí nabíjeného akumulátoru dosáhne určité velikosti (která odpovídá napětí nabitého akumulátoru), přestane procházet proud z kondenzátoru C_1 (nabitého na Zenerovo napětí D_6) do emitoru T_5 a přes diodu D_7 do běžce potenciometru R_3 . Impulsy z emitoru T_4 zanikají a multivibrátor uzavře cestu proudu do Zenerovy diody D_5 ; přestane procházet nabíjecí proud. Když po nějaké době napětí akumulátoru opět poklesne, obnoví se nabíjení a také se rozsvítí kontrolní žárovka Z . Žárovka tedy signalizuje stav nabití. Když svítí, není akumulátor dostatečně nabit. Když bliká, je akumulátor na mezi správného nabití, a když blikne vždy po určité době, je akumulátor správně nabit. Při správném nastavení běžce R_6 je akumulátor udržován v nabitém stavu.

Kontakt S je součástí síťového vypínače. Při sepnutém kontaktu je totiž akumulátor vybíjen nejen proudem do zátěže nebo proudem

samovolného vybíjení akumulátoru, ale také obvodem nabíječe. Při odpojení síťového napětí by docházelo k jeho trvalému vybíjení.

Typ tranzistoru T_1 a žárovky závisí na velikosti potřebného nabíjecího proudu. Pro nabíjecí proudy do 0,1 A postačí tranzistor typu KF 506, pro větší nabíjecí proudy je vhodnější tranzistor KU 611 nebo podobný tranzistor s potřebnou výkonovou ztrátou a závěrným napětím. Žárovka je na napětí 6 V a její jmenovitý proud určuje velikost nabíjecího proudu.

69. Tyristorový nabíječ s periodickou kontrolou stavu nabití

Použití tranzistorů ke spínání a regulaci nabíjecího proudu je v nabíječích s větším nabíjecím proudem nevýhodné. Proto byl v nabíječi podle obr. 104 použit ke spínání nabíjecího proudu tyristor [31].

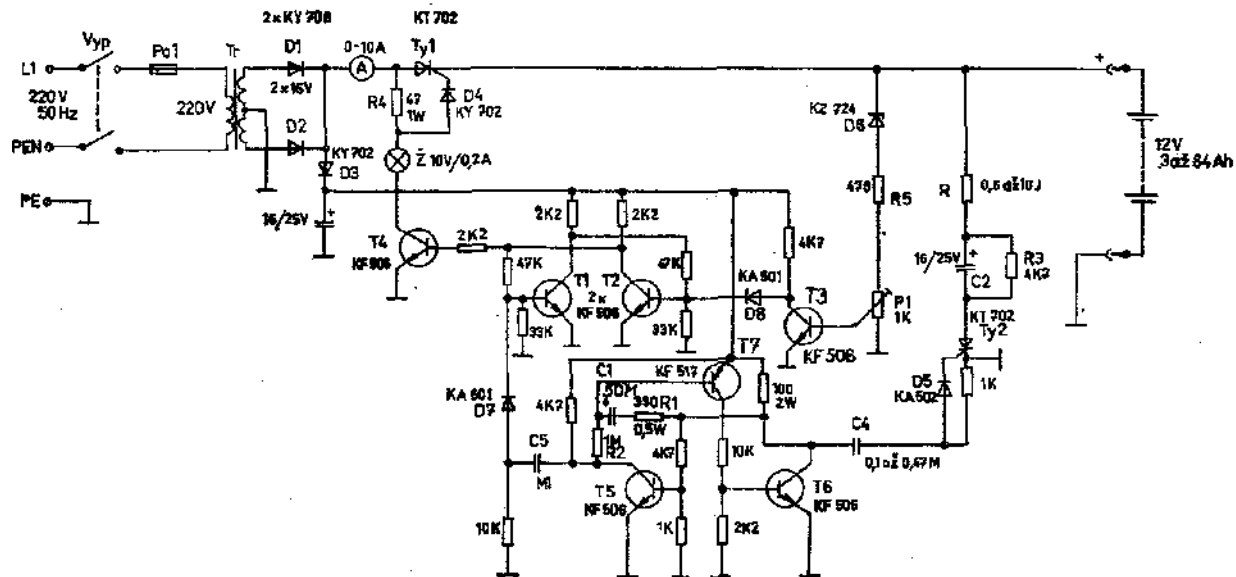
Nabíječ je určen pro větší akumulátory (12 V/3 až 84 Ah) a automaticky se provádí kontrola nabití při zatížení. Každých asi 30 s se na okamžik připojí paralelně k akumulátoru zatěžovací odpor o velikosti 0,5 až 10 Ohm. Nabíjení trvá tak dlouho, dokud napětí na akumulátoru klesá pod určitou mez.

K nabíjení je použito dvojcestně usměrněného napětí z transformátoru. Nabíjecí proud je omezen odporem vinutí transformátoru, odporem ampérmetru a částečně dynamickým odporem usměrňovacích diod, tyristoru a nabíjeného akumulátoru. Proto pro konstrukci transformátu platí stejná pravidla jako pro nabíječ bez vnějších odporů (viz kap. 50).

Požadujeme-li, aby nabíječ vyhověl pro několik typů akumulátorů, je třeba volit transformátor tak, aby vyhověl pro největší nabíjecí proud a přepínačem musíme zařazovat do série s nabíjeným akumulátorem odpory, které omezí velikost nabíjecího proudu na potřebnou velikost. Současně je třeba přepínat i velikost odporu R , kterým zatěžujeme nabíjený akumulátor v okamžiku kontroly správného nabití.

Tranzistory T_5 až T_7 tvoří astabilní multivibrátor, který generuje každých asi 30 s impuls o délce asi 0,5 s. Na přesné dále impulsu a na jeho opakovacím kmitočtu příliš nezáleží. Časy jsou zhruba určeny časovými konstantami C_1R_1 (doba trvání impulsu) a C_2R_2 (opakovací kmitočet). Pro akumulátory s větší kapacitou je vhodné volit časové konstanty větší.

Impulsem se přes kondenzátor C_4 , a diodu D_5 spíná tyristor Ty_2 . Tento tyristor připojí paralelně k nabíjenému akumulátoru odpor R . Přes tento odpor se nabíjí kondenzátor C_2 a po jeho nabití prochází



obvodem pouze proud určený velikostí napětí akumulátoru a součtem odporů R a R_3 . Tento proud musí být menší, než je proud potřebný k udržení tyristoru Ty_2 v sepnutém stavu, a proto tyristor nezůstane trvale sepnut. Náboj kondenzátoru se vybije přes odpor R_3 a obvod je připraven k dalšímu sepnutí.

Tranzistory T_1 a T_2 tvoří bistabilní klopný obvod ovládaný přes diody D_8 a D_7 . Při každém kontrolním impulsu poklesne napětí akumulátoru na určitou velikost, úměrnou stavu nabití akumulátoru. Tranzistor T_3 se přitom uzavře a klopný obvod (T_1 , T_2) se překlápí tak, že je tranzistor T_2 sepnut. Tranzistor T_4 je uzavřen a přes žárovku zapojenou v jeho kolektoru neprochází proud. Tyristor Ty_1 je otevřen přes odpor R_6 a diodu D_4 . Tyristorem prochází nabíjecí proud.

Potenciometrem P_1 lze nastavit určitou velikost napětí, při kterém pokles napětí na akumulátoru nezpůsobí uzavření tranzistoru T_3 . Toto napětí je třeba nastavit tak, aby tranzistor T_3 zůstal otevřen při napětí, které odpovídá správně nabitému akumulátoru.

Klopný obvod (T_1 , T_2) je z multivibrátoru vazbou přes kondenzátor C_5 vždy před kontrolním impulsem překlopen tak, že je sepnut tranzistor T_1 . Protože po nabití akumulátoru nenásleduje sepnutí tranzistoru T_2 , zůstává klopný obvod překlopen tak, že je sepnut trvale T_1 a současně spíná tranzistor T_4 . Tento tranzistor rozsvítí žárovku 2 a průchodem proudu přes odpor R_4 se zmenší napětí na diodě D_4 , na velikost, která nestačí k otevření tyristoru Ty_1 . Nabíjecí proud se přeruší.

Žárovka signalizuje stav nabití. Při nabíjení zůstává žárovka zhasnutá a rozsvítí se vždy pouze na krátkou dobu asi po 30 s. Tím signalizuje správnou činnost nabíječe. Jakmile je akumulátor nabit, zůstane žárovka trvale svítit.

Velikost odporu R závisí na jmenovité kapacitě nabíjeného akumulátoru. Pokud není možné velikost tohoto odporu zjistit z údajů výrobce akumulátoru (zatěžovací charakteristiky), určíme odpor tak, že jím musí procházet proud. Číselně se rovnající 0,2 až 0,3 Ohm, kde Ohm je kapacita (jmenovitá) nabíjeného akumulátoru. Pro akumulátor o 40 Ah volíme odpor R o velikosti asi 1 Ohm.

Zenerova dioda D_6 má mít velikost Zenerova napětí v rozmezí 10 až 10,5 V (při proudu v rozsahu 1 až 3 mA),

Přístroj není zkratuvzdorný, a proto je při eventuálním zkratu jeho výstupních svorek ohrožen měřicí přístroj, tyristor Ty_1 , usměrňovací diody a vinutí transformátoru. Proto je vhodné změřit proud, který prochází primárním vinutím transformátoru Tr při zcela vybitém akumulátoru a pojistku Po_1 dimenzovat pro proud o málo větší. Tím je přístroj proti zkratu ochráněn, neboť krátkodobé přetížení uvedeným součástkám neuškodí.

Při vypnutí síťového napětí jsou oba tyristory uzavřeny a z akumulátoru prochází vybíjecí proud pouze v obvodu Zenerovy diody D_6 . Tento proud je však řádově několik miliampérů a nevybíjí znatelně akumulátor. Proto není nutné současně se síťovým napětím odpojovat přívod k akumulátoru.

70. Automatický nabíječ s kontrolní indikací pomocí žárovek

Tento nabíječ [32] je určen pro nabíjení šestivoltových baterií o kapacitě 500 mAh, složených z NiCd zapouzdřených článků. I když je použití nabíječe jednoúčelové, může zapojení sloužit amatérům jako návod i pro konstrukci podobného nabíječe pro jiný typ akumulátoru, popřípadě lze nabíječ doplnit přepínačem s možností jeho činnost přepínat.

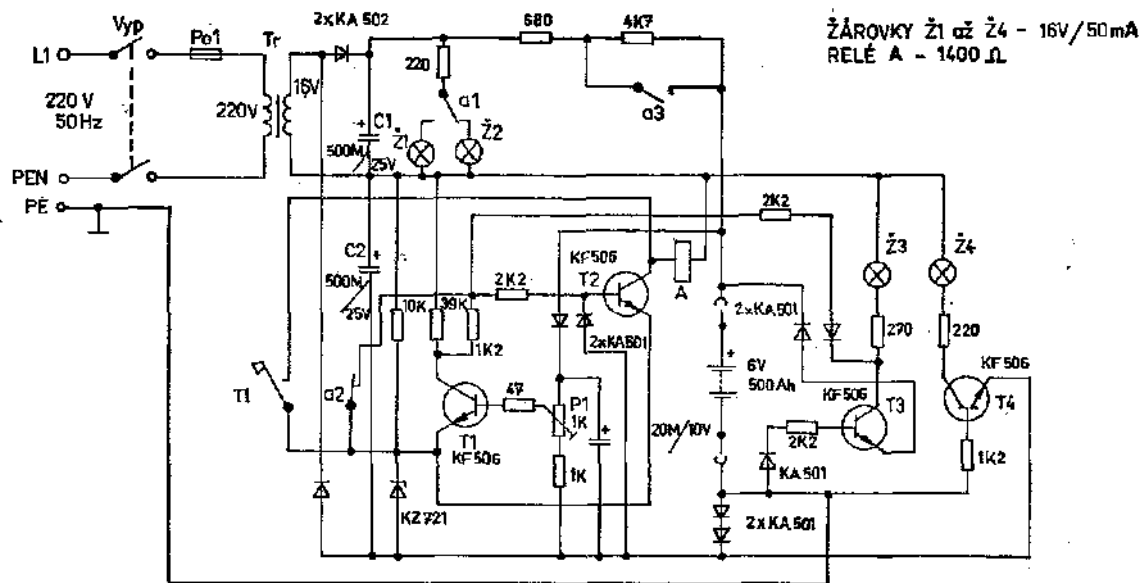
Zapojení přístroje je na obr. 105. Nabíjecí proud je omezen odporem na velikost asi 50 mA. Napětí z transformátoru (16 V) je zdvojeno zdvojovačem na velikost asi 48 V.

Po připojení akumulátoru k nabíječi stiskneme tlačítko T1. Přitáhne relé A. Pokud je akumulátor správně připojen a jeho napětí nedosahuje velikosti, kterou vykazuje správně nabitý akumulátor, zůstane relé přitaženo i po uvolnění tlačítka T1. Tranzistor T_1 je totiž uzavřen, neboť napětí na běžci potenciometru P_1 nedosahuje napětí na Zenerově diodě, zapojené v jeho emitoru. Tranzistor T_2 je otevřen proudem, který prochází odpory v jeho bázi z kladného napětí na kondenzátoru C_2 .

Potenciometrem P_1 nastavíme napětí nabíjené baterie, při níž má relé A odpadnout. Zároveň s přitažením relé A přepíná přepínací kontakt a_1 , který rozsvěcí žárovky indikace. Žárovka \check{Z}_2 prosvětluje nápis „nabíjení přerušeno“, žárovka \check{Z}_1 nápis „nabíjení“. Žárovka \check{Z}_4 prosvětluje nápis „akumulátor připojen“. Kdyby totiž nebyl akumulátor správně připojen, nebyla by pravdivá informace žárovky \check{Z}_1 . Pokud je akumulátor připojen ke svorkám obráceně, rozsvítí se žárovka \check{Z}_3 .

Jakmile je akumulátor nabit, rozpojí se kontakt relé a_3 a akumulátor se nabíjí pouze udržovacím proudem o velikosti asi 8 mA. Kontakt a_3 uzavře tranzistor T_2 , takže při dalším případném poklesu napětí na akumulátoru již nabíjení nepokračuje.

Je-li akumulátor přepólován, sepne tranzistor T_3 a tím je blokováno sepnutí tranzistoru T_2 . Relé A tedy nezůstane sepnuté a neprochází nabíjecí proud.



Obr. 105. Automatický nabíječ se žárovkovou kontrolní indikací

71. Svářecí transformátor kombinovaný s nabíječem šestivoltových i dvanáctivoltových akumulátorů

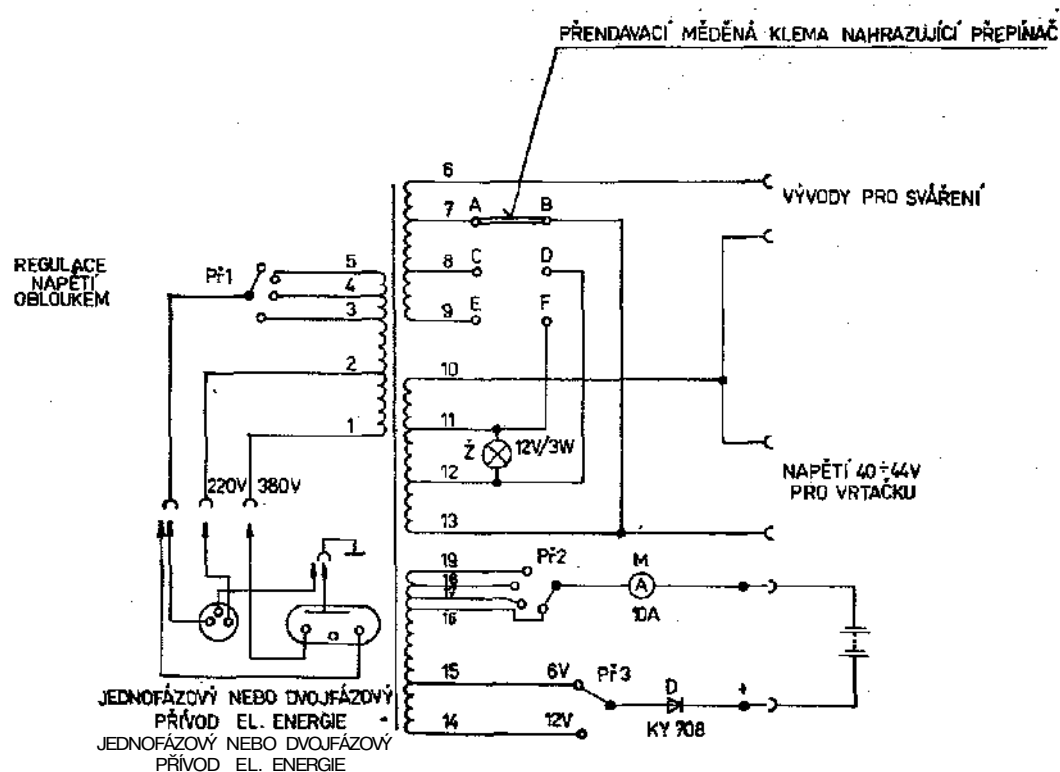
Pokud máme nabíječ jenom pro svoji potřebu, tj. nabíjíme s ním pouze vlastní akumulátor ve své motorovém vozidle, je tento přístroj poměrně málo využit. Použijeme-li jej dvakrát nebo třikrát za rok, nemůžeme říci, že ho dostatečně využíváme. Proto se mnozí z nás snaží nabíječ využít ještě jinak. Většina nabíječů v této knize popisovaných, i když to výslovně neuvádíme, se dá použít i jako zdroj pro modelové dráhy, kolejiště modelových železnic, univerzální napájecí zdroj pro práci s tranzistory apod. Nabíječ NB 15, vyráběný v n. p. Elektropřístroj v Rokytnici nad Jizerou, lze používat např. jako univerzální testovač k elektropříslušenství automobilu. Že je možné použít ho i jinak, plyne z následujícího popisu. Nabíječ na obr. 106 je kombinován s transformátorovým svářecím agregátem a celé zařízení může sloužit ještě také jako zdroj 40 V pro elektrickou bezpečnostní vrtačku. Popis celého agregátu omezuje pouze na elektrické údaje. Pokud se někdo rozhodne ke stavbě, doporučujeme ještě prostudovat [35], kde je uvedena i konstrukce mechanických částí, kterou pro omezený rámec této knihy neuvádíme.

Parametry

napájení	síťové, 220 V, 50 Hz nebo 380 V, 50 Hz
maximální primární proud	25 A při sváření, jističeno 25 A jističem
svařovací proud	přepínatelný na tři stupně v rozmezí 1. stupeň 50 až 80 A 2. stupeň 110 až 150 A 3. stupeň 150 až 220 A
napětí pro elektrickou vrtačku	40 až 45 V
napětí nabíjených akumulátorů	12 V a 6 V
nabíjecí proud	maximálně 10 A, regulovatelný po skocích přepínačem $Př_2$, popř. i $Př_1$
nabíjecí charakteristika	W
proud naprázdno	při 220 V asi 0,3 až 0,6 A při 380 V asi 0,25 až 0,5 A
orientační hmotnost	50 kg

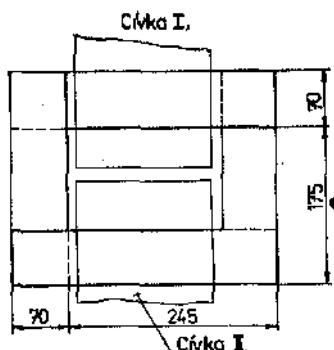
Funkce je jednoduchá, dostatečně patrná ze schématu na obr. 106. Základem je rozptylový svářecí transformátor složený z I plechů.

Svařovací proud se přepíná přepínáním tlusté měděné spojky ve třech stupních, kdy spojku dáváme mezi body AB (1. stupeň), CD

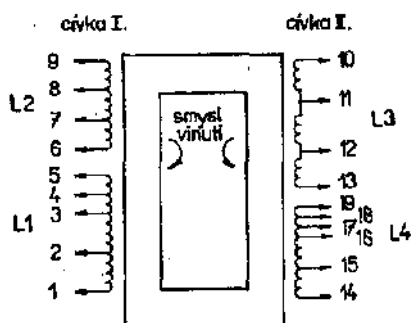


Obr. 106. Svářecí transformátor kombinovaný s nabíječem šestivoltových i dvanáctivoltových olověných baterií

(2. stupeň) a EF (3. stupeň). Přepínačem Př₁ se přepíná napětí elektrického oblouku. Naprázdno se toto napětí pohybuje v rozmezí 53 až 70 V. Přepínání tohoto přepínače má vliv i na nabíjecí proud. Nabíjecí



Obr. 107. Sestavené jádro transformátoru



Obr. 108. Umístění vinutí na jádru transformátoru

Tabulka 18. Počet závitů a druh vodiče pro vinutí transformátoru

Cívka 6.	Vinutí	Vývod 6.	Počet závitů	Závitů celkem	Drát
I	primární L_1	1— 2 2— 3 3— 4 4— 5	156 188 32 32	156 344 376 408	průměr 2,0 mm CuL2B průměr 2,4 mm CuL2B průměr 2,4 mm CuL2B průměr 2,4 mm CuL2B
I	sekundární L_2	6— 7 7— 8 8— 9	16 15 15	16 31 46	Al, průřez 35 mm ² Al, průřez 35 mm ² Al, průřez 35 mm ²
II	sekundární L_3	10—11 11—12 12—13	18 17 16	18 35 71	Al, průřez 35 mm ² Al, průřez 35 mm ² Al, průřez 35 mm ²
II	sekundární L_4	14—15 15—16 16—17 17—18 18—19	8 8 1 1 1	8 16 17 18 19	průměr 2,4 mm CuL2B průměr 2,4 mm CuL2B průměr 2,4 mm CuL2B průměr 2,4 mm CuL2B průměr 2,4 mm CuL2B

proud se reguluje po skocích přepínáním odboček na sekundárním pomocném vinutí L4. Nabíjecí proud je jednocestně usměrněn jednou diodou KY 708, umístěnou na chladiči o minimální ploše 100 cm². Proud do akumulátoru kontroluje ampérmetrem M. Žárovka Ž nám pouze indikuje stav zapnutí přístroje.

Základem celého zařízení je transformátor složený z transformátorových plechů tloušťky 0,35 nebo 0,5 mm. Rozměry jsou 70X185 a 70X250 mm. Plechy jsou skládány v jednotlivých vrstvách tak, aby následující vrstva vždy překryla dělicí spáry předcházející vrstvy (obr. 107). Na obr. 107 je následující vrstva vždy kreslena čárkovaně. Výška složeného jádra je 72 mm, průřez jádra je 50 cm². Kostru cívek tvoří pouze čtyři desky 2 3mm pertinaxu bez čel. Cívky jsou dostatečně samonosné, vlivem síly vodičů a nutné impregnace. Na obr. 108 je schéma transformátoru; počty závitů a druh vodičů uvádíme v tab. 18.

IX. PROFESIONÁLNÍ NABÍJEČE

72. Nabíječe pro skupinové nabíjení akumulátorů

Většina dříve popisovaných nabíječek se hodí pro nabíjení jednoho nebo malého množství akumulátorů současně. Pro skupinové nabíjení se vyrábějí nabíječe složitější, které mají široké možnosti variant použití. Mezi špičkové výrobce takových zařízení se řadí o. p. ČKD Praha závod Polovodiče. Pro celkové dokreslení stavu se stručně zmíníme o dvou vyráběných typech.

Typ TAN 250 (ČKD) je tyristorový automatický nabíječ určený pro nabíjení paralelně řazených startovacích olověných baterií o napětí 12 V.

Má tyto základní parametry:

sítové napájení 3X380 V + 10% - 15%, 50 Hz

jmenovitý proud v přívodu 14 A

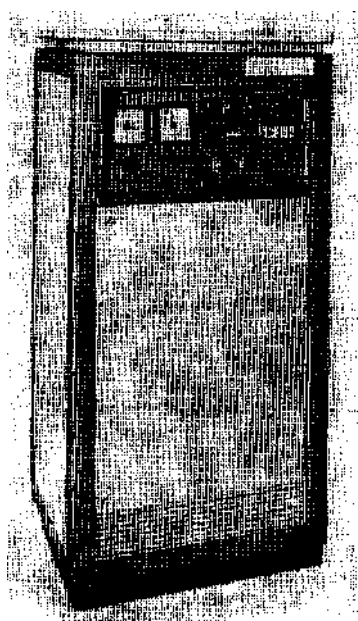
jmenovitý příkon 9,2 kVA

jmenovitý nabíjecí proud 250 A

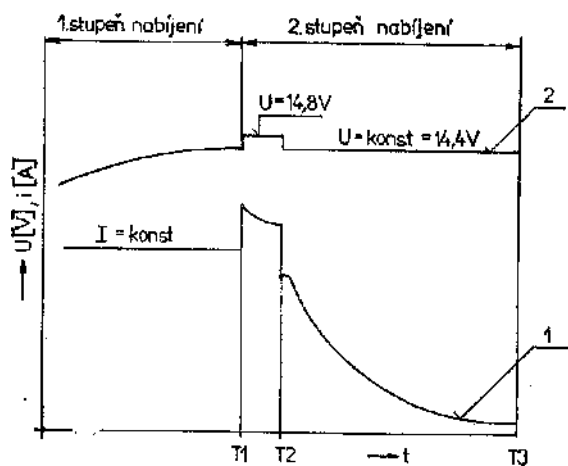
hmotnost 250 kg

rozměry 1200X600X480 mm (obr. 109)

Nabíjené akumulátory mohou mít kapacitu v rozsahu asi 50 až 2500 Ah. Počáteční konstantní nabíjecí proud lze nastavit v rozmezí 5 až 250 A. Nabíjecí cyklus probíhá podle grafů na obr. 110. V 1. stupni se akumulátory nabíjejí proudem I. V celém prvním stupni se proud nemění a nabíječ je zdrojem konstantního proudu. Postupným nabíjením akumulátorů, podle stupně nabití, stoupá svorkové napětí. Pokud jsou tedy zapojeny akumulátory různého stupně nabití, rozdělí se nabíjecí proud v první fázi nabíjení nerovnoměrně, což se během nabíjecího procesu vyrovnává. Žádný z akumulátorů se nepoškodí velkým proudem, neboť napětí nemůže být vyšší, než je plynovací napětí akumulátoru, tj. 14,4 V (2,4 V na Článek). Jakmile však na sběrnici přestoupí napětí tuto velikost, je skončen 1. stupeň nabíjení (obr. 110). Akumulátory jsou v této době nabitý asi na 50 až 70%, podle jejich



Obr. 109. Nabíječ TAN-250, ČKD Polovodiče



Obr. 110. Průběh proudu a napětí v automatickém cyklu na akumulátoru při nabíjení nabíječem TAN-250 (ČKD). Křivka 1 — proud do akumulátoru, 2 — napětí akumulátoru (sběrnicích nabíječe) při nabíjení

kvality (stárí, vnitřního odporu a částečně i oodle velikosti zvoleného proudu v 1. fázi nabíjení).

Doba T_1 , což je trvání prvního stupně nabíjení, je závislá na stupni vybití jednotlivých akumulátorů a na zvoleném proudu I . Kolísá proto v širokém rozmezí asi od 1 do 8 h.

Po dosažení plynovacího napětí se Činnost nabíječe automaticky mění. Na sběrnici se nyní udržuje konstantní napětí. Nejdříve se velikost napětí skokově zvýší na 14,8 V a tím. dojde ke zvětšení nabíjecího proudu. Tento stav trvá 0 až 15 min. (T_2). Tato doba je nastavitelná na panelu přístroje. Účelem je přivést na krátkou dobu akumulátory k plynování, aby se dosáhlo promíchání elektrolytu. Po skončení doby T_2 udržuje nabíječ na sběrnici konstantní napětí 14,4 V. Nabíjecí proud se postupně podle exponenciály zmenšuje. Konec nabití je třeba zkontrolovat podle hustoty elektrolytu. Doba trvání 2. stupně (T_3) se pohybuje od 6 do 10 hodin. Skok napětí T_2 se doporučuje ještě jednou zopakovat před koncem nabíjení.

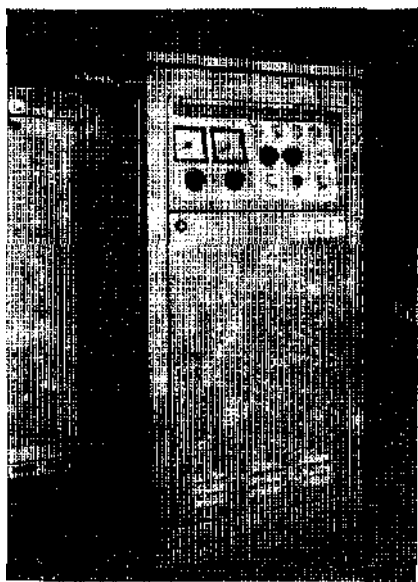
K zabezpečení správné funkce je třeba napěťové hladiny na sběrnici udržovat v toleranci alespoň $\pm 1\%$. Kromě automatického pracovního režimu lze nabíječem nabíjet i s ručním ovládáním, popř. jej použít k rychlonabíjení.

Nabíjecí proces lze urychlit velkým zvětšením proudu v 1. stupni nabíjení. Po dosažení 2. stupně nebo při zmenšení nabíjecího proudu na $0,6 I_{10}$ se po třech hodinách přepne na ruční ovládání a nastaví se proud $0,6 I_{10}$ (tj. 6 A na 100 Ah připojené kapacity). Tím ale stoupá napětí na akumulátorech až na 16,1 V, což je napěťové omezení nabíječe. V tomto režimu je třeba hlídat teplotu elektrolytu, aby nepřesáhla 40 °C. Tímto proudem se doporučuje nabíjet asi po dobu dvou hodin. Nastavený Čas nabíječ samočinně odměří. Nabíjení se dokončí běžným způsobem tak, že se na sběrnici opět nastaví 14,4 V a nabíjecí proud se zmenšuje exponenciálně na nulu.

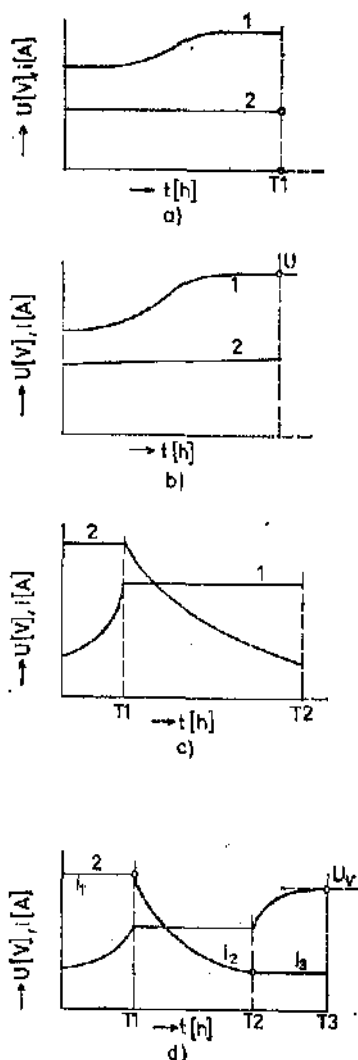
Průběh automatického i ručního ovládání lze sledovat na panelu nabíječe. Kromě ampérmetru a voltmetru jsou zde signální žárovky signalizující 1. a 2. stupeň nabíjení, dále prosvětlovací tlačítka „ruční ovládání“ a „skok napětí“.

Pro sledování Času v 2. stupni je zabudováno Časové počítadlo, které se před každým nabíjecím cyklem nuluje. Počítadlo udává nabíjecí čas v minutách, který uplynul od ukončení 1. stupně nabíjení (od přechodu na skok napětí).

Typ TAN-U (ČKD) (obr. 111) je tyristorový univerzální nabíječ, určený k nabíjení jak olověných, tak alkalických akumulátorů. Lze použít pro různá napětí.



Obr. 111. Nabíječ TAN-U, ČKD Polovodiče



Obr. 112. Křivky nabíjení akumulátorů při nabíjení nabíječem TAN-U (ČKD). Křivka 1 — $u = f(t)$, tj. průběh napětí na akumulátoru během nabíjení; křivka 2 — $i = f(t)$, tj. průběh proudu akumulátorem během nabíjení; a) charakteristika I, b) charakteristika Ia, c) charakteristika IU, d) charakteristika IUI a

Má tyto základní parametry:

síťové napětí 3X380 V \pm 10 %

jmenovitý proud v přívodu 25,5 A

jmenovitý příkon 17 kVA

maximální nabíjecí proud 140 A (pro jmenovité napětí nabíjených baterií do 42 V) a 70 A (pro napětí vyšší)

maximální jmenovité napětí nabíjených baterií 80 V

rozměry 1200X600X480 mm

hmotnost 290 kg

Akumulátory lze při nabíjení řadit jak paralelně, tak sériově, popřípadě tato zapojení kombinovat.

Regulátor nabíječe má tyristorové (tj. téměř bezeztrátové) řízení proudu. Nabíjecí proud lze nastavit plynule od 2 A až do maximálních hodnot. Nabíječ TAN-U může pracovat v mnoha pracovních režimech:

a) Nabíjení konstantním proudem s automatickým vypnutím podle předem nastaveného času, pokud tento čas nepřesáhne 24 h. Tento způsob je vhodný pro nabíjení různých druhů akumulátorů řazených do série, pokud jejich jmenovité napětí nepřestoupí 80 V. Tohoto způsobu bývá používáno v nabíjárnách pro drobné uživatele. Obsluha vypne automatické hlídání nabíjecího času a zvolí takový proud, který vyhoví všem typům nabíjených akumulátorů (např. 3 až 5 A). Přinesené akumulátory se přiřazují k již nabíjeným akumulátorům do série. Jednotlivé akumulátory jsou označeny časem připojení a obsluha pravidelně kontroluje stav nabití. Charakteristika je na obr. 112a (charakteristika I_1).

b) Nabíjení podle charakteristiky I_a (obr. 112b). Nabíjí se opět konstantním proudem. Automaticky se vypíná po dosažení plného nabití akumulátoru, tj. tehdy, když napětí nezvroste o více než 0,5% za hodinu.

Tento způsob je vhodný zejména pro nabíjení alkalických akumulátorů pro rychlonabíjení. Pro olověné akumulátory je tento způsob méně vhodný, protože se musí volit počáteční proud menší a tím se zvětší doba nabíjení.

c) Nabíjení podle charakteristiky IU (obr. 112c). Nabíjení konstantním proudem. Po dosažení plynovacího napětí se přechází na nabíjení konstantním napětím. Je to způsob téměř totožný s činností nabíječe TAN 250, pouze nedochází k automatickému skoku napětí. Tento způsob je určen pro automatické nabíjení paralelně zapojených olověných nebo alkalických akumulátorů. To, co bylo již napsáno, lze do-

plnit ještě tím, že je poměrně nevýhodné zpočátku nabíjet příliš velkým proudem. Napětí na akumulátoru rychle dosáhne velikosti plynovacího napětí a v tomto stupni se akumulátor nabil pouze na malou část své kapacity. Čas nabíjení T_2 se pak neúměrně prodlužuje. Podle 0,3 Qč [A] a maximální přístupný počáteční proud 0,6 Qč (A). Pokud zkušenosti je optimální nabíjecí proud u olověných akumulátorů chceme v tomto režimu provádět rychlonabíjení, musíme postupovat tak, že do nabíjecího cyklu ručně zasáhneme (jako u nabíječe TAN 250) nebo pracovat v režimu d.

d) Nabíjení podle IUI_a charakteristiky (obr. 112d). Průběh nabíjení je trojstupňový v časech T_1 , T_2 a T_3 . Nabíjí se konstantním proudem až po dosažení plynovacího napětí akumulátoru (T_1). Pak se nabíječ automaticky přepne na nabíjení konstantním napětím (T_2). Jakmile se proud akumulátorem zmenší na nastavenou velikost I_3 (lze ji nastavit po 10 % původního proudu I_1 v rozmezí 10 až 50 %), dává nabíječ konstantní proud do doby (T_3), kdy se akumulátor plně nabije. Odpojení a ukončení nabíjení nastane automaticky jako v případě b.

Tohoto způsobu nabíjení se používá zejména u trakčních akumulátorů a je poměrně ekonomicky výhodný a rychlý.

Uvedené ukázky činnosti dvou profesionálně vyráběných nabíječů mají vytvořit porovnání mezi popisovanými, jednoduchými amatérskými nabíječi.

Z našeho hlediska je zajímavé, že o. p. ČKD závod Polovodiče dodává k nabíječům ještě praktické přípojky. Je to kabel opatřený na jednom konci svorkou pro vývod nabíječe a na druhém konci rychloupínacím držákem na kuželový vývod olověných akumulátorů. Při nabíjení velkými proudy je takové připojení akumulátoru k nabíječi funkčně nutné.

73. Nabíječ akumulátorových baterií NB 15

Tento nabíječ vyrábí Elektropřístroj Modřany n. p., závod Rokytnice nad Jizerou. Proto schéma na obr. 113 uvádíme bez konkrétních údajů o součástkách a nemáme úmyslně zařazenu rozpiskou součástek.

Jde o jednoúčelový nabíječ pro dvanáctivoltové olověné akumulátorové baterie v rozsahu kapacit od 35 do 85 Ah.

Nabíječ má parametry:

nabíjecí proud maximální 8 A
maximální příkon 195 VA

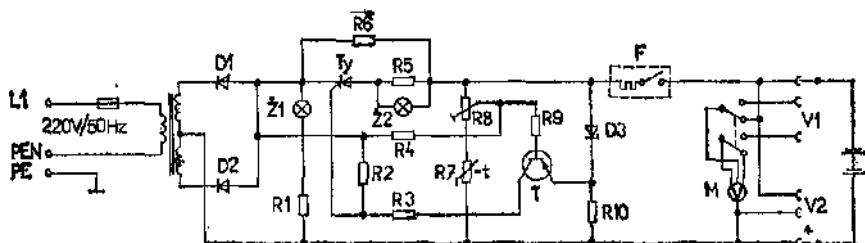
rozměry 273X158X180

hmotnost 7,4 kg

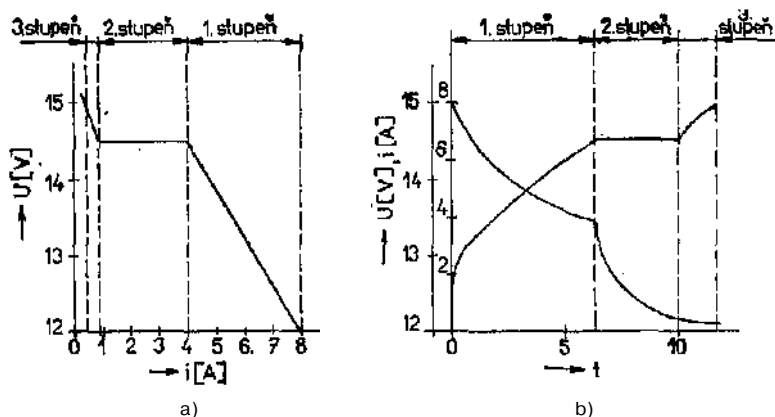
průběh nabíjecí charakteristiky WoUoW

Průběh nabíjení je na charakteristikách obr. 114.

V 1. stupni W_1 se nabíjí zcela vybité baterie zpočátku nabíjecím proudem 8 A. Během nabíjení se proud zmenšuje a napětí na baterii



Obr. 113. Schéma zapojení nabíječe NB-15



Obr. 114. a) nabíjecí voltampérová charakteristika nabíječe NB 15; b) závislost napětí a proudu nabíjené olověné baterie 12 V/50 Ah na čas

stoupá. Při dosažení napětí 14,5 A je nabíjecí proud asi 4 A. Akumulátorová baterie je nabita na 70% své jmenovité kapacity. V tomto bodě nabíječ automaticky přechází na 2. stupeň. V tomto 2. stupni nabíječ udržuje na akumulátorové baterii napětí 14,5 \pm 0,15 V. Během tohoto stupně se nabíjecí proud zmenšuje až na 0,7 A. Při zmenšení proudu na tuto velikost je akumulátorová baterie nabita asi na 90 % jmenovité kapacity a automaticky nabíječ přechází na 3. stupeň. Ve

3. stupni probíhá dobíjení proudem 0,7 až 0,5 A. Konečné napětí je při tomto způsobu nabíjení asi 15 V.

Schéma nabíječe je na obr. 113. Nabíječ má běžné jištění proudovou tavnou pojistkou P_o zapojenou v primárním vinutí transformátoru, dvojcestné usměrnění diodami D_1 a D_2 ; žárovka Z_1 signalizuje zapnutí přístroje. Regulaci proudu zajišťuje tyristor T_y , který je řízen do řídicí elektrody tranzistorem T . Tranzistor je do báze řízen napětím z děliče R_7 a R_8 , emitor má tranzistor připojen na referenční srovnávací napětí vzniklé na Zenerově diodě D_3 . Trimrem R_8 se nastavuje okamžik úplného uzavření tranzistoru T a tím i tyristoru T_y , závislém na napětí připojené akumulátorové baterie.

V okamžiku plného zavření tyristoru přechází nabíječ na 3. stupeň nabíjení. V 1. stupni je tyristor trvale otevřen kladným napětím, takže nabíjecí proud je omezen pouze odporem R_5 a svítí trvale žárovka Z_2 . Stoupne-li napětí na baterii, což se projeví stoupnutím napětí na bázi tranzistoru T , začne se tyristor otevírat pouze na část periody pulsujícího stejnosměrného napětí. Žárovka Z_2 pouze žhne. Jde o 2. stupeň nabíjení. Ve třetím stupni je tyristor již uzavřen a nabíjecí proud je již omezen pouze relativně velkým odporem R_5 . Termistor R_7 slouží k tepelné kompenzaci celé regulace ve 2. stupni nabíjení.

Sekundární strana je jištěna elektromagnetickým jističem F , který zároveň umožňuje odepnout akumulátorovou baterii i měřicí kontrolní voltmetr. Dvojrozsahový voltmetr M s rozsahy 3 a 25 V má oba vývody, tj. 3 a 25 V vyvedeny na vnější svorky V_1 a V_2 . Žárovka Z_2 se rozsvítí i při poruchových stavech, jako je zkrat na výstupu nebo opačně připojený akumulátor.

Výhodou nabíječe je automatický provoz s průběhem nabíjení v krátkém čase při malém plynování akumulátoru. Nabíječi je jedno, v jakém stupni nabití je nově připojený akumulátor, nabíjení může začít např. i druhým nebo třetím stupněm.

N. p. Elektropřístroj Modřany vytvořil z nabíječe NB 15 univerzální měřicí přístroj pro motoristy tím, že lze výstupní voltmetr M jednoduše jističem odepnout. Dvojrozsahový voltmetr lze pak využít pro testování akumulátoru místo zkušební vidlice — voltmetr má na třívoltovém rozsahu toleranční pole poklesu — ke kontrole připojené akumulátorové baterie, univerzálního externího měření napětí a proudu, ale i ke kontrole některých funkcí elektrické výbavy vozidla.

X. ZÁKLADNÍ POJMY

Akumulátor je sekundární elektrochemický zdroj stejnosměrného proudu. Má schopnost hromadit energii stejnosměrného elektrického proudu a tu zpětným elektrochemickým pochodem vrátit (vydat), přičemž proud prochází obráceným směrem, než jakým procházel při přivádění energie.

Akumulátorová baterie je sestava akumulátorových článků, popřípadě i celých akumulátorů, spojených spojkami zpravidla do série.

Akumulátorový článek je základní, nejmenší jednotka akumulátoru. Skládá se vždy z jedné sady kladných, anodových a záporných, katodových elektrod. Sada je spojena v jednom článku paralelně pro zvětšení proudové hustoty. Článek obsahuje ještě části nutné k sestavení, tj. separátory, spojky, elektrolyt a článkovou nádobu.

Ampér [A] je základní jednotka elektrického proudu. Klasicky se definovala chemicky jako množství proudu, který vyloučí za jednu sekundu z roztoku dusičnanu stříbrného (AgNO_3) elektrochemicky 1,118 mg stříbra. V současné době se používá jiná definice, která říká, že jeden ampér je proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými vodiči, umístěnými ve vakuu, vzdálenými od sebe jeden metr, vyvolá silový účinek $2 \cdot 10^{-7}$ N na každý metr délky obou vodičů,

Ampérhodina [Ah] je jednotka elektrického náboje. Je to náboj prošlý za jednotku času libovolným průřezem vodiče, prochází-li tímto vodičem určitý proud. Příklad: akumulátor se nabíjel po dobu 10 h proudem 5 A. Říkáme, že akumulátor má kapacitu 50 Ah.

Ampérmetr je přístroj pro měření elektrického proudu. Jeho stupnice je cejchována v jednotkách proudu, tj. ampérech nebo jeho zlomcích.

Anoda je kladný pól v elektrickém zařízení. V elektrochemii je to vždy kladná elektroda článku nebo baterie.

Burel je kysličník mangačitý MnO_2 , vláknitý, křehký, černý s polo kovovým leskem. Zahřátím s kyselinou sírovou dává kyslík, s kyselinou solnou chlór. V elektrochemii se přidává do galvanických článků. Zde se používá jednak přírodní, který se těží jako nerost, jednak i synteticky vyrobený.

Coulomb [C] je jednotka elektrického náboje. Je to elektrický náboj prošlý za jednu sekundu libovolným průřezem vodiče, kterým prochází elektrický proud 1 A.

Cyklus (akumulátoru) je nabití a vybití akumulátoru za definovaných podmínek v oblasti povolené pracovní schopnosti akumulátoru.

Depolarizátor je látka přidávaná do galvanického článku, aby nevznikala polarizace. Depolarizátor se chemicky slučuje s plyny způsobujícími polarizaci a tím je elektricky neutralizuje; např. polarizující vodík se odstraní kyselinou dusičnou, chromovou, burelem nebo jiným oxidačním činidlem.

Dobíjení (akumulátoru) je občasné nabíjení k doplnění energie na stav plného nabití akumulátoru.

Elektrický odpor je vlastnost hmoty bránit se průchodu elektrického proudu. Jednotkou odporu je ohm [Ohm].

Elektromotorické napětí způsobuje na svorkách článku nebo jiného elektrického zdroje energie rozdíl potenciálů ve voltech, který pak uzavřením vnějšího elektrického obvodu vytváří elektrický proud

Elektroda je vodič, jímž prochází elektrický proud do jiného prostředí. Může to být kov, ale i kapalina.

Farad [F] je jednotka kapacity. Kondenzátor má kapacitu 1 F, když se nabije elektrickým nábojem o velikosti 1 C při napětí 1 V. Je to jednotka příliš velká, proto se používá jejich zlomků, např. pikofarad 1 pF = 10^{-12} F, nanofarad 1 nF = 10^{-9} F, mikrofaraad 1 uF = 10^{-6} F.

Formování akumulátoru (zejména olověného) je elektrochemický proces k vytvoření aktivní hmoty na elektrodách. Formování je součást výroby akumulátoru. Pozor na záměnu pojmů: nabíjení akumulátoru spotřebitelem již není formování.

Galvanický článek je elektrochemický zdroj elektrické energie. Je nazván podle Itala Galvaniho. Je znám již od roku 1800, kdy první článek sestavil také Ital Volta. Galvanických článků je mnoho různých typů. Obecně lze říci, že se používají galvanické články suché, mokré a nálevné. Vždy obsahují dvě elektrody a elektrolyt na ně působící. Vlivem vnitřního chemického procesu vzniká na obou elektrodách rozdíl elektrických potenciálů.

Galvanismus je elektrický jev, který nastane, když se setkají dva různé vodiče elektriny. Stýká-li se např. zinková deska s deskou měděnou, vznikne na nich rozdíl potenciálů, elektromotorické napětí. Podle tohoto jevu jsou seřazeny v takzvané Voltové řadě stykových potenciálů tak, že každý s následujícím v řadě má kladný potenciál, s předchozím záporný. Část řady např.: zinek, olovo, cín, železo, měď, zlato, stříbro, platina, uhlík atd. V praxi se snažíme k sobě nepřikládat kovy, které jsou ve Voltové řadě od sebe příliš vzdáleny.

Grafit (tuha) je alotropická modifikace uhlíku, krystalizující v šestičtverečné soustavě, v listěcích, kovového šupinatého vzhledu, na omak mastného. Vyrábí se ze sazí. Používá se do uhlíků, elektrod. Je dobře vodivý.

Hustoměr, jinak areometr, denzimetr. Je to přístroj pro měření měrné hmotnosti — hustoty kapalin. Nejobvyklejší je hustoměr ponorný, což je podlouhlá skleněná nádoba, zatížená na dně rtutí nebo broky tak, aby v tekutině plavala svisle. Nahoře je stonek opatřený stupnicí hustot, přičemž hladina kapaliny srovnaná se stupnicí ukazuje přímo hustotu této kapaliny, neboť nádoba se do kapaliny noří v závislosti na její hustotě.

Hustota, měrná hmotnost.

Chemický proces vratný a nevratný (pochod). V elektrochemii se jako proces vratný rozumí chemická přeměna, při níž se vybitím a zpětným nabitím článku dosáhne původního stavu jak elektrolytu, tak chemického složení elektrod. To nastává u akumulátorů, i když ideálního počátečního stavu nelze ani zde dosáhnout, neboť vratné pochody jsou provázeny téměř vždy alespoň částí nevratných pochodů. U nevratného pochodu dostaneme uvnitř článku sloučeninu, kterou již na původní chemické prvky rozložit nelze. Podle toho se také články nazývají vratné, tj. akumulátory, nebo také články sekundární a nevratné; články primární jsou články galvanické.

Izolační odpor baterie, článku je odpor [*Ohm*] mezi elektrodami baterie a zemí, popřípadě kostrou vozidla, konstrukcí stroje apod.

Jmenovitá kapacita akumulátoru [Ah] je veličina určující elektrický náboj, kterým je Článek nebo akumulátor schopen odevzdat za stanovených podmínek nabíjení a vybíjení. Protože je kapacita akumulátoru závislá na vybíjecí době, je údaj obvykle doplňován indexem, který určuje vybíjecí dobu. Dělíme-li tímto indexem jmenovitou kapacitu akumulátoru, dostaneme jako výsledek jmenovitý vybíjecí proud pro danou kapacitu akumulátoru. Příklad: jmenovitá kapacita akumulátoru po dvacet hodin je $Q_{20} = 100 \text{ Ah}$. Odpovídající vybíjecí proud je $I = 100 \text{ Ah} / 20 \text{ h} = 5 \text{ A}$. Jmenovitou kapacitu akumulátoru uvádějí všichni výrobci, kteří jsou vázáni normami ČSN a mezinárodními doporučeními.

Jmenovité napětí je určená, zpravidla zaokrouhlená střední hodnota vybíjecího napětí článku. U olověného akumulátorového článku jsou to 2 V, u niklokadmiového 1,2 V, u stříbrozinkového 1,5 V. Jmenovité napětí akumulátorové baterie je součinem počtu článků a jejich jmenovitých napětí, např. tříčlankový olověný akumulátor nazýváme běžně šestivoltovým apod.

Jmenovitý vybíjecí proud je výrobcem uvedený vybíjecí proud, využívající optimálně jmenovité kapacity článku nebo baterie.

Kapacita (akumulátoru) [Ah] je veličina určující vydaný elektrický náboj odebraný z akumulátoru. Označuje se písmenem G. Jde o značně proměnnou veličinu, závislou podle typu akumulátoru nebo článku na velikosti vybíjecího proudu, hustotě a teplotě elektrolytu, stavu a stáří akumulátoru nebo článku. Údaj udávaný výrobcem má být minimální zaručená kapacita za daných provozních a vybíjecích podmínek.

Katoda je záporný pól elektrického zařízení. V elektrochemii je to záporná elektroda článku nebo akumulátoru.

Konečné vybíjecí napětí je výrobcem stanovené napětí, pod nímž se nesmí akumulátor nebo Článek vybíjet.

Kondenzátor obsahuje dvě dielektrickým prostředím oddělené elektrody. Jeho kapacita je udávána ve faradech (F). Je tím větší, čím jsou elektrody blíže u sebe a čím mají větší plochu. Závisí přímo-úměrně na dielektrické konstantě oddělujícího dielektrika. Kondenzátor je schopen shromažďovat (hromadit) elektrický náboj.

Leclanchéův článek je typ galvanického článku.

Měrný odpor [Ohm meter] je odpor vodiče 1 m dlouhého o průřezu 1 m² při 20 °C. U elektrolytů je to odpor krychličky 1 cm³.

Elektrický náboj Q [C] je náboj, který projde libovolným průřezem vodiče za jednu sekundu, prochází-li tímto vodičem proud jeden ampér.

Elementární náboj je $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, což je náboj jednoho elektronu.

Nabíjecí charakteristika (akumulátoru) je závislost svorkového napětí akumulátoru na době nabíjení.

Nabíjecí součinitel (akumulátoru) je převrácená hodnota ampérhodinové účinnosti.

Nabíječ je přístroj určený k nabíjení článků a akumulátorů.

Nabíjení (akumulátorů) je přeměna elektrické energie na chemickou proudem procházejícím akumulátorem určitým směrem

Ohm [R] je jednotka elektrického odporu. Je to odpor vodiče, jímž prochází proud 1 A při napětí 1 V.

Ohmův zákon je stěžejní elektrotechnický zákon vyjadřující vztah mezi proudem, odporem a napětím $U = IR$.

Plné nabití (akumulátoru) je stav, při němž se dosáhlo plné kapacity akumulátoru. Stručně lze říci, že olovené akumulátory jsou nabitý, nezvětšuje-li se při nabíjení dále jejich napětí a hustota elektrolytu. Nikl-kadmiové akumulátory jsou plně nabité, zvětší-li se při nabíjení napětí naprázdno na jednom článku na 1,4 až 1,48 V, stříbrozinkové

akumulátory jsou plně nabity, zvětší-li se napětí na jejich svorkách při nabíjení na 2,1 V na článěk.

Polarizace elektrická je orientace molekul dielektrika v kondenzátoru. Molekuly se orientují v elektrickém poli.

Polarizace galvanická je jev, který nastává při odebrání proudu z galvanického článku. Je způsoben hromaděním rozkladných produktů elektrolytu v okolí elektrod. Vzniká i vratná chemická reakce, kromě reakce, která je původcem elektrického proudu z článku odebíraného. Začne probíhat i opačná chemická reakce, vyvolávající proud opačného směru (polarizační proud), který působí proti původnímu elektromotorickému napětí. Tím se toto původní elektromotorické napětí zmenšuje. Proto při delším odebrání proudu z článku rychle klesá až zamkne. Příčinou polarizace u galvanických článků je nejčastěji vodík, který se hromadí v bublinkách na katodě a brání styku elektrody s elektrolytem. Polarizace se odstraňuje depolarizátory. U vodíku jsou to oxidační látky, které jej přeměňují na vodu. Depolarizací se vysvětluje také zotavení článku při přerušení odběru proudu. Úplně se polarizace odstraní pouze u elektrod, které se při elektrochemické reakci v článku jakostně nemění.

Potenciál je dán prací vykonanou elektrickým polem při přenesení elementárního náboje z nekonečna na dané místo silového pole po libovolné dráze. Jediný bod v elektrickém poli má potenciál. Rozdíl dvou potenciálů je elektrické napětí.

Průběh nabíjení (akumulátoru) je časový diagram napětí a proudu procházejícího akumulátorem nebo článkem při nabíjení.

Průběh vybíjení (akumulátoru) je Časový průběh napětí a proudu při vybíjení.

První nabíjení (akumulátoru) je nabíjení akumulátoru po jeho naplnění elektrolytem. K prvnímu nabíjení dodává výrobce zpravidla určitá doporučení. Toto první nabíjení se někdy nesprávně označuje jako formování nebo formovací nabíjení.

Přebíjení akumulátorů je nabíjení po dosažení plného nabití.

Sada desek (akumulátoru) jsou vodivé paralelně spojené elektrody stejné polarity, umístěné v jednom článku.

Samovolné vybíjení je nežádoucí vybíjení vnitřními pochody.

Separátor je nevodivý izolátor propouštějící elektrolyt a oddělující elektrody (desky) nestejné polarity v jednom akumulátorovém článku, Udržuje zpravidla i stejnou rozteč mezi elektrodami. Separátory jsou z materiálů nerozpustných v elektrolytu. Mají obvykle tvar desek nebo kapes v jedné nebo i více vrstvách. K jejich výrobě se používá např. PVC, impregnovaná papírovina, polyetylenová rohož, celofán, polyamidová tkanina apod.

Sulfatace je chemická přeměna aktivních hmot oloveného akumulátoru na síran olovnatý. V malé míře se vyskytuje při každém běžném vybíjení, kdy je tato přeměna vratná následujícím nabíjením. Při špatném zacházení s akumulátorem, zejména při značném vybití a ponechání akumulátoru ve vybitém stavu po delší dobu, dojde k velké nevratné sulfataci a k znehodnocení akumulátoru.

Svorkové napětí je napětí naměřené na svorkách zdroje elektrického proudu. Měříme-li toto napětí při nezatíženém zdroji, je rovno elektromotorickému napětí. Při zatížení zdroje zatěžovacím proudem je toto napětí menší než elektromotorické napětí o úbytek na vnitřním odporu zdroje.

Termoelektrické napětí je elektromotorické napětí vzniklé zahřátím styku dvou kovů. Přeměňuje přímo teplo v elektrickou energii

Trvalé, konzervační nabíjení akumulátoru je nepřetržité nabíjení akumulátoru proudem určeným k vyrovnání ztrát vznikajících samovolným vybíjením.

Účinnost akumulátoru nábojová (proudová) [%]. Je poměr z akumulátoru odebrané energie [Ah] (až do poklesu napětí na hodnotu konečného vybíjecího napětí) k energii [Ah], potřebné k úplnému nabití akumulátoru. Zpravidla musí být dány ještě podmínky nabíjení a vybíjení.

Účinnost energetická (pracovní) [%]. Je poměr energie [Wh] ze článku akumulátoru nebo celé baterie odebrané do okamžiku, kdy napětí klesne na hodnotu konečného vybíjecího napětí, k energii [Wh], potřebné k plnému nabití. Ampérhodinová a watthodinová účinnost jsou u stejného akumulátoru číselně různé.

Volt je jednotka elektrického napětí.

Vybíjecí charakteristika je závislost napětí na době vybíjení při určených vybíjecích podmínkách: zpravidla zatěžovací odpor, plné počáteční napětí, nabití, určitá teplota elektrolytu a okolí.

Watt je jednotka elektrického výkonu.

Zatěžovací voltampérová charakteristika článku vyjadřuje zmenšení napětí článku nebo akumulátoru v závislosti na vybíjecím proudu vždy v určité době vybíjení (většinou po 1 s, 10 s, 30 s, 60 s) při určitém výchozím stavu akumulátoru, tj. nabitě na 100%, 66, 50, 25 % a určité teplotě elektrolytu (např 25 °C, 0 °C, -18 °C).

Zdroj napětí a zdroj proudu, popř. zdroj konstantního napětí nebo proudu. Je to pojem vztahující se k vnitřnímu odporu zdroje. Za zdroj napětí se považuje takový zdroj elektrické energie, u kterého při zvětšování odebíraného proudu se nezmenšuje svorkové napětí. To je

možné jen u takového zdroje, který má vnitřní odpor téměř nulový. Za zdroj konstantního proudu se považuje takový zdroj, který v jistém rozmezí do měnící se zátěže dodává stálý konstantní proud. To je možné jen tehdy, je-li vnitřní odpor zdroje velmi velký. Běžné napájecí zdroje (např. dynamo, chemické zdroje atp.) mají vždy konečné reálné hodnoty vnitřního odporu a uvedeným ideálním zdrojům se více nebo méně blíží. Ideálních stavů, tj. nulového nebo nekonečného odporu lze dosáhnout poměrně jednoduše elektronicky.

LITERATURA

- [1] *Khol, J.*: Akumulátory motorových vozidel. SNTL, Praha 1974
- [2] *Kabeš, J.*: Výpočet normalizovaných transformátorů. ST 2/1956
- [3] *Kubeš, J.*: Udržování akumulátorů. Elektrotechnik 1/1962
- [4] *Vašíček, A.*: Typizované napájecí transformátory a tlumivky. SNTL, Praha 1963
- [5] *Janda, J.*: Stavební návod a popis Certus. Domácí potřeby, Praha 1963
- [6] *Bělov, A.*: Provoz akumulátorů. SNTL, Praha 1967
- [7] *Bělov, čpr., List*: Elektrotechnika XIV. Články galvanické, akumulární, palivové, fyzikální. SNTL, Praha 1968
- [8] *Marek, N.*: Uzavřené niklokadmiové akumulátory. Sborník přednášek Domu techniky, 1971
- [9] *Boden a kol.*: J. Electrochem. Soc. 115, 4/1968, s. 333 až 335
- [10] *Kang, h.*: Electrochem. Acta 13, 2/1968, s. 227 až 284
- [11] *Malík, J.*: Olověný akumulátor. Naše vojsko, Praha 1953
- [12] Firemní literatura n. p. Pražská akumulátorka, Ml. Boleslav
- [13] Firemní literatura n. p. Bateria, Slaný
- [14] Firemní literatura firmy VARTA
- [15] Firemní literatura firmy Sonnenschein
- [16] Firemní literatura n. p. TESLA, Rožnov pod R.
- [17] Soubor norem ČSN třídy 36
- [18] *Kubeš, J.*: Galvanické články a akumulátory. SNTL, Praha 1958
- [19] *Bartoš, S.*: Nabíjení akumulátorů a usměrňovačů. Elektrotechnik 1/1969 str. 7 a 8
- [20] Tyristorový nabíječ TAN 250. Popis a návod k obsluze
- [21] Tyristorový nabíječ TAN U. Popis a návod k obsluze oboje firemní lit. CKD Polovodiče
- [22] *Holub, Zika*: Praktická zapojení polovodičových diod a tyristorů. SNTL, Praha 1971
- [23] *Bečka, R.*: Nabíječka akumulátorů NiCd s automatickým vypínáním. Příloha časopisu AR 1975
- [24] *Jansta, J.*: Palivové baterie. Přednáška na cel. konferenci CSVTS v Blansku 21. 3. 1963.
- [25] *Hrabal, L.*: Alkalické burelové články. Sborník přednášek z konference Elektrochemické zdroje. Dům techniky CSVTS, Praha 1971
- [28] Wilhelm Garten BLEIAKUMULATOREN, Varta baterie AG Hanover 1974
- [29] *Kubín, P.*: Elektrická zařízení osobních automobilů. SNTL, Praha 1972

- [30] Sdělovací technika 10/1973, str. 393 a 3/1974, str. 104
- [31] Rádio Fernsehen elektronik 22/1972, str. 741 až 743
- [32] Rádio Fernsehen elektronik 1/1972, str. 18 až 19
- [33] Klaus Schlenzing — Selen — Optoelektronik
Fotoelektronische effekte in der amateurpraxis DDR, Berlin 1972
- [34] Výrobní dokumentace n. p. Elektropřístroj, závod Rokytnice n. Jizerou
- [35] *Klimeš, J.i* Oblouková transformátorová svářečka. AR 12/73 + 1/74