

## БОРДОВИ ЕНЕРГОЗАХРАНВАЩИ УСТРОЙСТВА НА РУДНИЧНИЯ ПОДВИЖЕН СЪСТАВ

Предназначението на бордовите енергозахранващи устройства е да осигурят нормалната работа на двигателите на подвижния състав при променящите се условия на движението на влака.

Енергозахранването на рудничния подвижен състав трябва да бъде сигурно, достатъчно мощно и икономично. Наред с това то трябва да бъде безопасно както за обслужващия локомотива персонал и за работещите в рудника хора, така и за взривобезопасната атмосфера, съществуваща в някои от подземните рудници.

Към бордовите енергозахранващи устройства на рудничния подвижен състав се отнасят: тяговите акумулаторни батерии, токоизправителните уредби (при променливотоковите контактни локомотиви), акумулаторите на механична енергия, горивната система на дизеловите локомотиви и пневматичната уредба на въздушните локомотиви.

С изключването на токоизправителните уредби бордовите енергозахранващи устройства осигуряват автономност на рудничния подвижен състав и същевременно са предпоставка за взривобезопасното му изпълнение.

Бордовите токоизправителни уредби преобразуват променливия еднофазен ток непосредствено преди подаването му към постоянноотоковите двигатели на локомотива, което прави възможно пренасянето на електроенергията под високо напрежение в тяговата мрежа със следващото понижаване на напрежението ѝ на борда на локомотива. Това значително увеличава радиуса на действие на стационарната тягова подстанция, при което качествено електроснабдяване на контактния подвижен състав се осигурява при минимален разход на цветни метали, необходими за устройване на контактната мрежа и при минимални загуби на електроенергия.

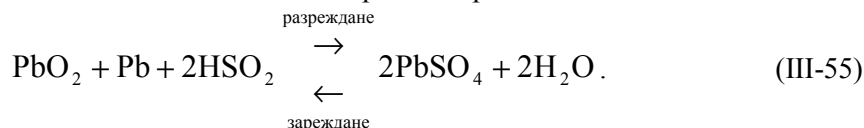
### А. Руднични акумулаторни батерии

#### 33. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА ОЛОВНИТЕ АКУМУЛАТОРИ

Понастоящем в рудничната електролокомотивна тяга намират приложение киселинните (оловните) и алкалните акумулатори.

В оловния акумулатор за електролит се използва разтвор на сярната киселина с плътност 1,23, в качеството на положителен електрод се използва закрепен върху оловна основа оловен двуокис  $PbO_2$ , а като отрицателен - гъбесто олово. Електролитът и електродите на акумулатора се поместват в киселиноустойчив (най-често - ебонитов) съд с паралелепипедна форма.

Протичането на химичната реакция при зареждането и разреждането (изпразването) на оловния акумулатор в най-общ вид може да бъде изразено с равенството



При разреждането на акумулатора двата електрода се покриват с оловен сулфат  $PbSO_4$  и се образува вода, поради което плътността на електролита се намалява.

При зареждане на отрицателния електрод се възстановява чистото олово, а на отрицателния - оловният сулфат отново се превръща в оловен двуокис  $PbO_4$ . Тъй като това е свързано с разход на вода, гъстотата на електролита при зареждане се повишава.

Зарядният процес се извършва дотогава, докато на пластините на акумулатора съществува

оловен сулфат. Когато той изцяло се разложи, по-нататъшното протичане на зарядния ток не изменя химичното състояние на електродите, а предизвиква разлагането на съдържащата се в електролита вода. При това на анода започва да се отделя кислород, а на катода - водород. Това отделяне на споменатите газове се нарича “кипене” на акумулаторния електролит и свидетелствува за завършилия заряден процес. С появата на “кипенето” на електролита зарядният ток трябва да се прекъсне, за да се избегне нагриването на електролита, повишаването на неговата гъстота и образуването на гърмяща смес от отделените газове.

Конструктивно електродите на оловния акумулатор се оформят като плочи (пластини) от олово, върху които се закрепват т. нар. “активна маса” на акумулатора, която участва в химичните реакции, свързани с процесите на зареждане и разреждане на акумулатора. Оловната основа на електродните плочи изпълнява функциите на тоководеща част, чрез която електродите се свързват както помежду си, така и с външната верига. Капацитетът на оловния акумулатор се определя преди всичко от количеството на неговата активна маса, поради което конструкцията на плочите трябва да бъде такава, че да позволява както укрепването към основата на голямо количество активна маса, така и достъпът на електролит до нея.

В оловните акумулатори се използват два основни вида електродни плочи, които се различават помежду си по начина на тяхното изработване:

- 1) повърхностни плочи;
- 2) пастировани плочи.

Повърхностните плочи обикновено се изливат от чисто олово, като активната им маса се получава чрез електрическа формовка, изразяваща се в серия бавни зареждания и разреждания на акумулатора.

Пастированите плочи притежават предварително подготвена във вид на паста активна маса, която се закрепва в специално предвидени за целта вдлъбнатини или други кухини, оформени в основата на плочата. Самата паста представлява смес от сярна киселина и оловен окис  $PbO$  - за отрицателните пластини и смес от сярна киселина  $Pb_3O_4$  - за положителните. За да се придаде по-голяма поръозност, в предназначенията за отрицателните плочи активна маса, понякога се прибавя  $BaSO_4$  въгленов или стъклен прах. При еднакъв капацитет на акумулатора повърхностните пластини са с по-големи размери и маса от пастированите, поради което понастоящем те не се прилагат в тяговите акумулатори на рудпичните електролокомотиви. Тяхното основно предимство пред пастированите плочи обаче е по-голямата им механична якост, която се дължи на по-здравата връзка на активната маса с основата.

Основни предимства на пастированите пластини са бързото им формиране (т.е. подготвяне за експлоатация), а следователно и евтиното им изработване. Освен това пастираната активна маса позволява акумулирането на по-голямо количество енергия при сравнително малък обем и маса на пластините, което е от особено значение за тяговите акумулатори.

Голям недостатък на пастированите плочи е ниската им механична якост, обуславяща сравнително къс експлоатационен срок. Независимо от взимането на необходимите предпазни мерки (поставяне на активната маса в по-дълбоки отвори, в специални, нанизани на оловна решетка тръбички - т. нар. панцерови плочи и др.) след известно време (което е толкова по-малко, колкото по-големи са сътресенията, на които е подложен акумулаторът, активната маса се изронва от основата на плочата и капацитетът на акумулатора се намалява.

За да се увеличи мощността на акумулатора, в един съд с електролит се комплектуват няколко паралелно свързани помежду си двойки от положителни и отрицателни плочи. Всеки комплект паралелно свързани пластини от даден вид (положителни или отрицателни) съответствува на един електрод на акумулатора.

Отрицателните и положителните пластини на комплектните електроди се разместват по

такъв начин, че всяка положителна пластина попада между две отрицателни (т.е. отрицателните пластини във всеки оловен акумулатор трябва да бъдат с една повече от положителните). Това се налага от склонността на положителните пластини към деформиране при едностранно токово натоварване.

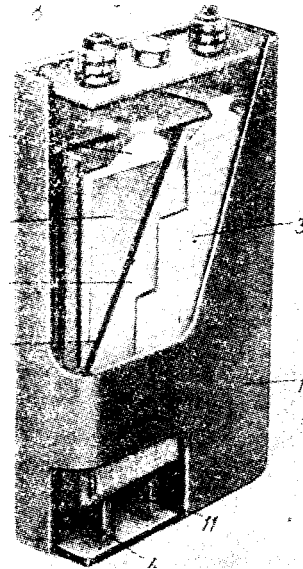
Разполагането на разнородните пластини на акумулатора в непосредствена взаимна близост прави възможни късите съединения между тях при изронване на части от активната маса, при непосредствено допиране на пластините (поради изкривяването им) и др. Тъй като късото съединение е извънредно опасно за акумулатора, между пластините му се поставят специални изолатори, наречени сепаратори, които могат да бъдат оформени като стъклени тръбички или като перфорирани и вълнообразно нагънати пластмасови листове.

Сглобените блокове от оловни акумулаторни пластини се поставят в ебонитов съд, който на дъното си има специално оформени призми. Те служат за опора на плочите и същевременно оформят достатъчно голямо свободно пространство, в което се утаява оронващата се в процеса на експлоатацията на акумулатора активна маса. Ако плочите вместо на носещи призми се опираха направо върху дъното на съда, оронената активна маса би предизвикала късо съединение между тях. Устройството на оловния акумулатор е показано на фиг. III-59.

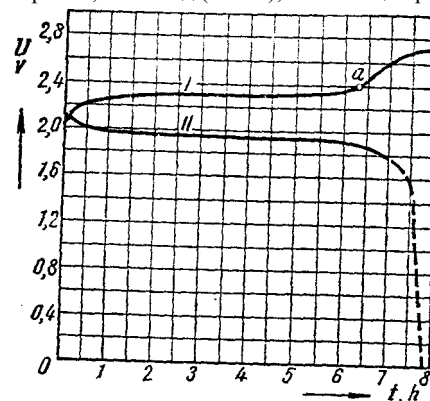
Съдът на акумулатора се затваря отгоре с ебонитов капак (фиг. III-59, позиция 8), в който са пробити отвори за изводите (клемите) на акумулатора (вж. поз. 70) и за доливане на електролит. Отворът, през който се извършва наливането на електролита, се снабдява със специална капачка с отвори, която пропуска в атмосферата отделените при работата на акумулатора газове.

Кривите на зареждането и разреждането на оловния акумулатор са показани на фиг. III-фиг. III-60, като по ординатата е нанесено напрежението на акумулатора, измерено във волтове, а по абсцисата - времето за зареждане или разреждане - в часове. Както се вижда от кривите, разрежданият и изключен от товар акумулатор нормално има около 2V напрежение. При започване на зареждането това напрежение отначало бързо нараства до 2,2—2,25 V, а след това плавно нараства до 2,3—2,4 V, като пред самото завършване на зареждането отново бързо нараства до 2,7—2,75 V.

Средното зарядно напрежение при нормално зареждане е в границите 2,3—2,35 V.



Фиг. III-59. Устройство на тягов оловен акумулатор: 1-пластмасов съд; 2-положителна пастирана плоча; 3-отрицателна пастирана плоча; 4-пространство на оронилата се активна маса; 5-електрически мост, свързващ положителните плочи; 6-сепаратор от порьозен каучук; 7-сепаратор от перфорирани пластмасов лист; 8-капак на акумулаторната клетка; 9-капачка на отвора, предназначен за доливане на електролит; 10-извод (клема); 11-носеща призма

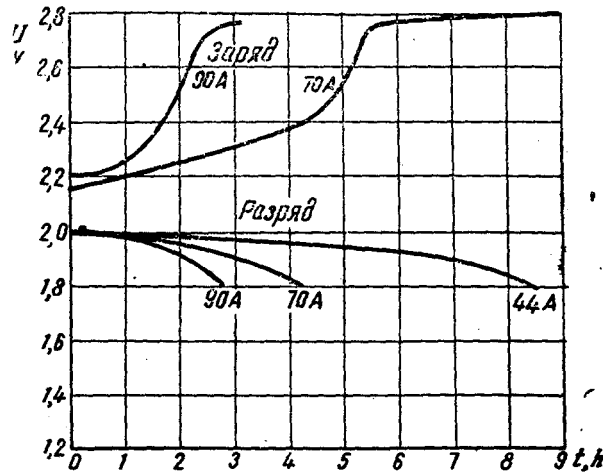


Фиг. III-60 Криви на зареждане I и разреждане II на оловен акумулатор

Зареденият и изключен от мрежата оловен акумулатор има начално напрежение 2,1—2,2 V. При включването на товар това напрежение отначало бързо се понижава до 2—1,95 V, а след това в процеса на разреждането плавно намалява до 1,83—1,98 V. В края на разреждането на акумулатора то рязко намалява, клонейки към нула. При разреждането на акумулатора не трябва да се допуска спадане на напрежението му под 1,8—1,75 V, тъй като дълбокото разреждане предизвиква повреди на електродните плочи.

При нормално разреждане средното разрядно напрежение е в границите 1,9—1,98 V.

От показаните на фиг. III-60 криви се вижда, че при зареждане и разреждане на акумулатора съществува разлика в неговите напрежения, а следователно и разлика между вложената и извлечената от него енергия. Това се дължи на загубите, свързани с преодоляването на собственото съпротивление на акумулатора, както и на загубите за необратими процеси, извършващи се през време на работата и зареждането на акумулатора.



Фиг. III-61. Криви на зареждане и разреждане на оловен акумулатор при различна сила на тока на зареждане и разреждане

Големината на зарядното и разрядното напрежение зависи в значителна степен от скоростта, с която се осъществяват споменатите процеси. Така при увеличаване скоростта на зареждането (вж. фиг. III-61) зарядното напрежение се увеличава, а при увеличаване скоростта на разреждането разрядното напрежение се намалява.

Върху големината на е.д.с. на акумулатора влияе концентрацията на сярна киселина в електролита, както и температурата на електролита - с увеличаване съдържанието на сярната киселина е.д.с. на акумулатора се увеличава, обаче концентрираният електролит действа разрушително върху електродните плочи; при нормална концентрация на сярната киселина в електролита и повишаване на температурата му е.д.с. на акумулатора се повишава, като градиентът на това повишение може да достигне до 0,38 mV deg.

При малка концентрация на сярната киселина в електролита с увеличаването на температурата му е.д.с. на акумулатора намалява.

Един от важните параметри на оловния акумулатор е плътността на тока определена по отношение на общата площ на действащата (активната) повърхност на положителните пластини (определена за двете им повърхности).

Обикновено при акумулаторите с пастировани плочи плътността на тока при продължително разреждане е в границите 30-50 A/m<sup>2</sup>, а при акумулаторите с повърхностни плочи (при тричасов режим на разреждане) - от 100 до 150-200 A/m<sup>2</sup>.

Колкото по-малка е плътността на тока при зареждането и разреждането на акумулатора, толкова по-големи са неговите капацитет и експлоатационен срок. Прекалено голямата

плътност на тока при зареждане на акумулатора съсредоточава превръщането на активната маса само върху повърхността на електродните плочи и по-голямата част от подаваната енергия се изразходва безполезно за разлагане на водата, т.е. за газообразуване. При форсирано разреждане на акумулатора голямата плътност на тока предизвиква разрушаване на пластините вследствие рязкото изменение обема на външните и вътрешните слоеве на активната маса.

Главната характерна величина на един акумулатор е неговият капацитет, който се измерва в ампер-часове (Ah).

Количеството електричество, необходимо за зареждането на акумулатора се нарича заряден капацитет, а количеството електричество, което може да се получи от акумулатора в процеса на неговото разреждане се нарича разряден капацитет. Зарядният капацитет е по-голям от разрядния с величината на загубите в самия акумулатор.

Зарядният и разрядният капацитет на акумулатора зависят от:

- 1) конструкцията и броя на пластините;
- 2) количеството и състоянието на активната маса върху пластините;
- 3) количеството, температурата и плътността на електролита;
- 4) режима на процеса, т.е. плътността на тока при зареждане и разреждане.

По-голям капацитет притежават акумулаторите с пастировани плочи (тъй като количеството на активната им маса при равни маса и обем е по-голямо от това на акумулаторите с повърхностни плочи), както и тези, чиято активна маса е порьозна (тъй като порьозността осигурява достъп на електролит във вътрешните слоеве на активната маса). Прекалено порьозната активна маса обаче е склонна към изронване в резултат на измененията в обема ѝ при зареждането и разреждането на акумулатора, което от своя страна води до намаляването на капацитета му.

Капацитетът на акумулатора зависи също от концентрацията на сярната киселина в електролита - с повишаването на концентрацията капацитетът се увеличава до известни граници; максималните стойности на капацитета се получават при плътност на електролита 1,22—1,27, което отговаря на съдържание на киселина в разтвора от 29,8 до 35,7%.

Зависимостта между капацитета на оловния акумулатор и температурата на електролита му е илюстрирана на фиг. III-62: при температура на електролита над нулата увеличаването ѝ води до съответно увеличаване на капацитета (вж. крива 1). Това се дължи на подобрената дифузия на електролита при химичните процеси и на намаленото вътрешно съпротивление на акумулатора. Нормална за електролита е температурата 30°C. Капацитетът на акумулатора при други температури се определя по формулата:

$$C_t = C_{30} [1 + 0,01(t^0 - 30)], \quad (\text{III-56})$$

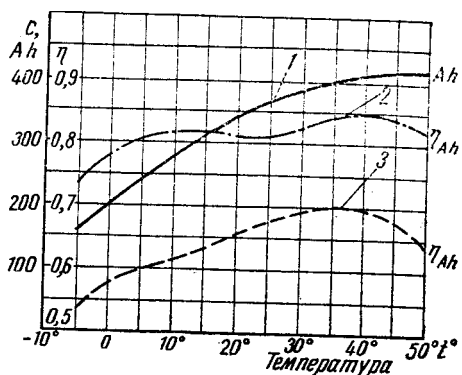
където

$C_t$  е капацитетът на акумулатора при температура  $t^0$ ;

$C_{30}$  - капацитетът на акумулатора при температура 30°C;

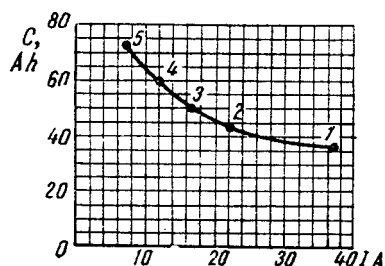
$t^0$  - средната температура на електролита през време на зареждането.

Температурата на електролита се променя в процеса на зареждането. При изчисляването  $t^0$  може да бъде определена като средна аритметична на температурите, измерени през равни интервали по време на зарядния процес.



Фиг. III-62. Криви, характеризиращи изменението на капацитета и к.п.д. на оловен акумулатор в зависимост от температурата

Това се обяснява, с факта, че големият заряден ток предизвиква бурно протичане на химичните реакции по повърхността и особено в порите на активната маса, при което не може да се осигури подходящо съдържание на  $H_2SO_4$  в контактуващия с тези зони електролит поради сравнително бавно извършващия се процес на механичната дифузия. В резултат зарядният процес протича ненормално, като разлагането на водата от електролита и “кипенето” започват преди пълното възстановяване на сулфатизираната активна маса и са допълнително препятствие за това възстановяване. Форсираното разреждане на акумулатора предизвиква образуването на едри кристали  $PbSO_4$  по повърхността на активната маса, в резултат на което порите й бързо се запушват и достъпът на електролита до вътрешните, още нереагирани слоеве на активната маса се затруднява и даже прекъсва.



Фиг. III-63. Криви, изразяващи зависимостта на капацитета на оловен акумулатор от големината на разрядния ток, респективно от времето на разреждане: 1- 1-часово разреждане; 2- 2-часово разреждане; 3- 3-часово разреждане; 4- 5-часово разреждане; 5- 10-часово разреждане

Саморазреждането е резултат от местни химични реакции, протичащи в активната маса на плочите на заредения акумулатор. При акумулаторите с  $\eta_a$  се означава ампер-часовият к.п.д., който изразява отношението

$$\eta_a = \frac{J_{\text{ср.р}} t_p}{J_{\text{ср.зар}} t_{\text{зар}}} p \quad (\text{III-57})$$

където

$J_{\text{ср.р}}$  - е средният разряден ток;

$t_p$  - времето за разреждане на акумулатора;

$J_{\text{ср.зар}}$  - средният заряден ток;

$t_{\text{зар}}$  - времето за зареждане на акумулатора.

Големината на  $\eta_a$  зависи от тока, от температурата на електролита и от саморазреждането. С увеличаването на големината на разрядния ток се увеличава количеството на енергията, която безполезно се изразходва за разлагането на водата от електролита, а с повишаването

От фиг. III-62 се вижда, че повишаването на температурата на електролита над  $35-40^\circ$  води до намаляване капацитета на акумулатора. При високи температури започва и изронването на активната маса от пастированите плочи. При отрицателни температури капацитетът на акумулатора рязко намалява поради затруднената дифузия на електролита в активната маса. Капацитетът на акумулатора в голяма степен зависи от скоростта, с която се извършват процесите зареждане и разреждане, при което капацитетът е обратно пропорционален на плътността на

На фиг. III-63 е показана крива, изразяваща зависимостта на разрядния капацитет от големината на разрядния ток на акумулатора.

Една от основните характерни величини на акумулатора е неговият к.п.д., тъй като той дава възможност да бъдат оценени загубите в акумулатора при зареждането и разреждането му. Тези загуби се дължат на нагриването и разлагането на електролита, на протичането на необратими процеси в активната маса, както и на саморазреждането на акумулатора.

Саморазреждането е резултат от местни

на температурата се увеличават местните реакции и саморазреждането. Колкото по-силно изразено е саморазреждането, толкова по-голямо количество енергия се изразходва при зареждането.

В практиката особено важно значение има ват-часовият (енергийният) к.п.д. на акумулатора  $\eta_v$ , който изразява отношението

$$\eta_v = \frac{U_{\text{срр}} I_{\text{срр}} t_p}{U_{\text{срр}} I_{\text{срзар}} t_z}, \quad (\text{III-58})$$

където  $U_{\text{срр}}$  и  $U_{\text{срзар}}$  са съответно средното разрядно и средното зарядно напрежение.

Големината на загубите в акумулаторите зависи от режима на работа, затова и коефициентите  $\eta_a$  и  $\eta_v$  зависят от скоростта и условията, при които протичат процесите зареждане и разреждане на акумулатора. При форсирането на тези процеси к.п.д. на акумулатора значително се намалява. При изчисленията средните стойности на тези коефициенти трябва да се приемат съответно: 0,85 - за  $\eta_a$  и 0,70 - за  $\eta_v$ .

Основните предимства на оловните акумулатори са:

- 1) голямата стойност на напрежението на един акумулаторен елемент 2 V, във връзка с което захранването на тяговите електродвигатели може да бъде осъществено чрез акумулаторна батерия, съдържаща сравнително малък брой елементи;
- 2) сравнително високите стойности на  $\eta_a$  и  $\eta_v$ .

Основните недостатъци на оловните акумулатори са:

- 1) сравнително голямата маса, при което основната и най-тежка част на плочите не участва в работните процеси на акумулатора;
- 2) чувствителност на акумулаторните плочи към удари и сътресения.

#### 34. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА АЛКАЛНИТЕ АКУМУЛАТОРИ

Към алкалните акумулатори се отнасят желязо-никеловите и кадмиево-никеловите.

За електролит и в двата акумулатора служи 20%-ов разтвор от калиева основа KOH или от натриева основа NaOH. Акумулаторният съд и рамките на електродните плочи се изработват от никелирана стомана. Активната маса на заредените положителни електроди в алкалните акумулатори се състои от никелихидроокис - Ni(OH)<sub>3</sub>. Тъй като той е лош проводник на електрически ток, за компенсиране на този му недостатък към него се прибавя никелов прах, графит и др.

Активната маса на отрицателните електродни пластини на алкалните акумулатори е различна.

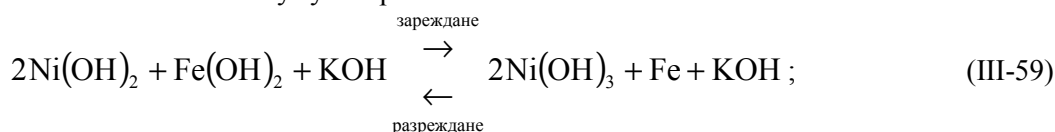
Активната маса на заредените отрицателни пластини на желязно-никеловите акумулатори се състои от гъбесто желязо, към което (за увеличаване на проводимостта му) се прибавя живачен окис - HgO (от 6 до 10%).

Активната маса на заредените отрицателни пластини на кадмиево-никеловите акумулатори представлява гъбест кадмий с прибавка на малко гъбесто желязо.

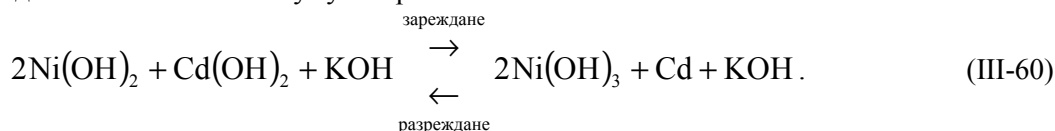
В електролита на желязно-никеловите акумулатори за увеличаване на електропроводността му се прибавя литиева основа LiOH - в размер на 0,5—2%, която подобрява работата на активната маса на електродите.

Химичните процеси, проявяващи се в алкалните акумулатори при зареждането и разреждането им, са отразени в следните равенства:

а) при желязно-никеловите акумулатори:



б) при кадмиево-никеловите акумулатори:



За разлика от оловните (киселинните) акумулатори електролитът на алкалните не участва в химичните реакции, а служи само като проводник на електрическия ток. Във връзка с това количеството на електролита в алкалните акумулатори е сравнително по-малко.

Активната маса при алкалните акумулатори не се разтваря в електролита и не се подлага на значителни обемни изменения. Това обстоятелство обуславя значителната дълготрайност на този вид акумулатори.

Тъй като съдовете и рамките на алкалните акумулатори са изработени от никелирана стомана, алкалният акумулатор се отличава със значителната си механична якост.

Активната маса на пластините на алкалните акумулатори е затворена в никелирани камери, снабдени с множество малки отвори. Диаметрите на тези отвори са по-големи от максималния размер на зърната на активната маса, поради което изронването ѝ и образуването на дънна утайка е невъзможно.

Въпреки наличието на примеси активната маса на алкалните акумулатори е лош проводник на тока и се отличава със слабо изразена порьозност. Това налага изработването на пластините на тези акумулатори с малка дебелина, тъй като процесите на химичното превръщане на активната маса се извършват само по повърхността им.

Както отрицателните, така и положителните пластини на алкалния акумулатор се състоят от стоманена никелирана рамка, в която са запресовани плоски кутийки или пакети от тънка перфорирана и никелирана стомана. В тези кутийки и пакети се поставят пресовани брикети от активна маса. В някои конструкции тягови акумулатори положителната пластина се състои от стоманена никелирана рамка, в която вертикално са укрепени запълнени с активна маса никелирани стоманени тръбички.

Увеличаването на капацитета на акумулатора се постига чрез поставянето в съда му на няколко положителни и отрицателни пластини, комплектувани за паралелна работа. За целта всички еднородни пластини се обединяват електрически посредством съединителна пръчка (мост) от никелирана стомана. Към двата, образувани по този начин, комплектни електрода се закрепват общи изводи (клеми).

В горната част на акумулаторния съд се заварява капак с отвори за изводите и за доливане на електролит. Отворът за доливане се снабдява с плътно прилягаща капачка и клапан за изпускане на отделените в електролита газове.

Устройството на тягов желязо-никелов акумулатор е показано на фиг. III-64. Кривите на зареждането и разреждането на същия акумулатор са показани на фиг. III-65.

При заредения желязо-никелов акумулатор началното напрежение е 1,45 V, а при кадмиево-никеловия акумулатор - 1,35 V. При включването на алкалните акумулатори под товар напрежението им отначало бързо се понижава до 1,3-1,25 V, след което в процеса на разреждането бавно намалява до 1 V. При преминаването на тази граница напрежението рязко спада почти до нула.

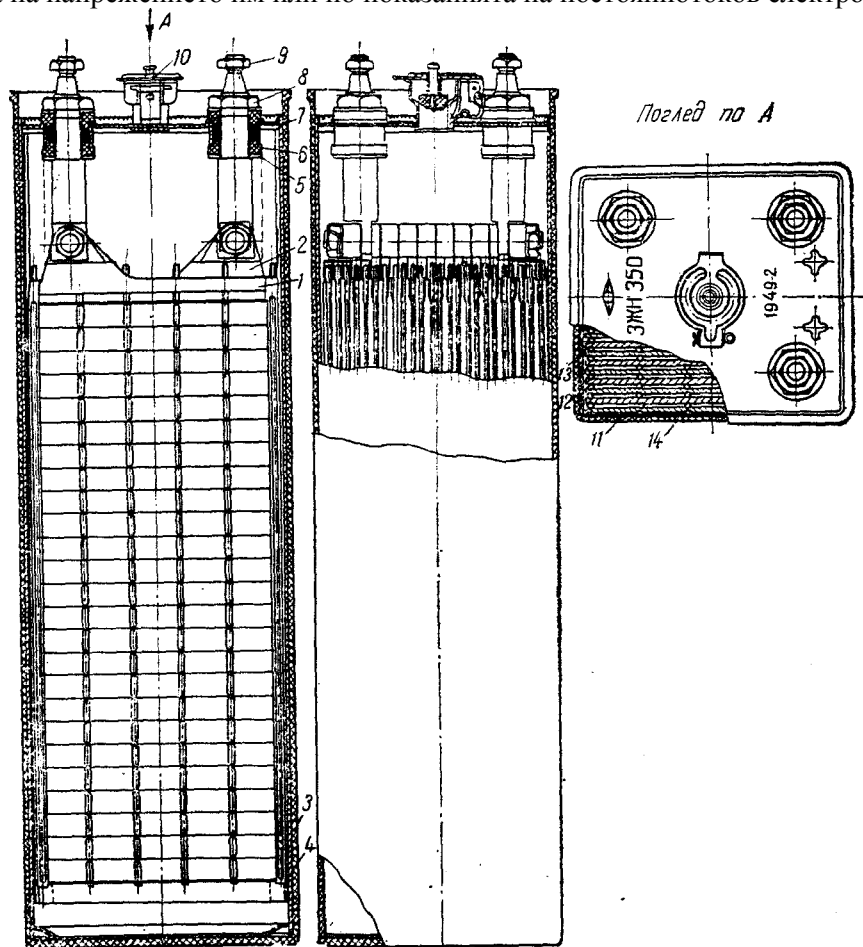
При зареждането с постоянна големина на тока напрежението на желязо-никеловия акумулатор нараства от 1,6 V в началото до 1,8 V в края на зареждането. Нормалната продължителност на зарядния процес е 7 h.

При зареждането на кадмиево-никеловия акумулатор напрежението му се изменя от 1,4 до 1,85 V. Нормалната продължителност на зарядния процес е 5 h.

Тъй като в алкалните акумулатори гъстотата на електролита не се изменя, а в желязо-никеловия акумулатор отделянето на водород започва от самото начало на зарядния процес, за степента на зареждането на тези акумулатори може да се съди само по



стойността на напрежението им или по показанията на постояннотоков електромер.



Фиг. III-64. Желязно-никелов акумулатор ТЖН-350:

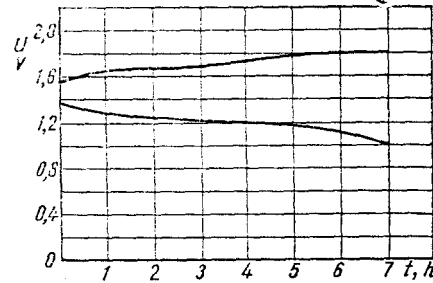
1-отрицателен блок пластини; 2-положителен блок пластини; 5-метална шайба; 6-ебонитова шайба; 7-салник; 8, 9-гайки; 10-клапан; 11-изолация; 12-фасонна изолация; 13, 14-изолационни пръчки

Отделяният се при зареждането на желязно-никеловите акумулатори водород може да образува с въздуха експлозивна смес, поради което зарядните помещения за този вид акумулатори трябва да бъдат с добра вентилация. Следва да се има пред вид, че отделянето на водород от желязно-никеловите акумулатори продължава и известно време след прекратяването на зарядния процес. Монтирането на акумулаторната батерия на борда на акумулаторния локомотив трябва да се извършва след като газоотделянето се е прекратило.

При сравняването на зарядните и разрядни криви на алкалните акумулатори с тези на оловните се вижда, че разликата между началните и крайните стойности на напрежението е по-голяма при алкалните акумулатори. Така за процеса на разреждане тя достига около 20%, докато при оловните акумулатори е 10%.

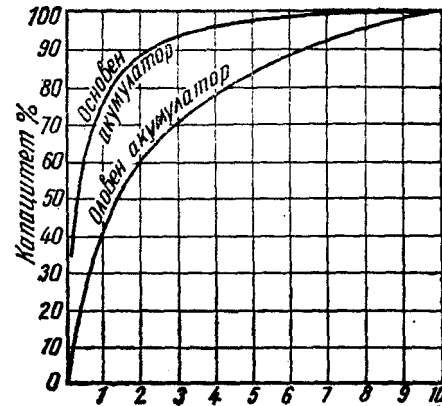
Капацитетът на алкалните акумулатори (за разлика от този на оловните) слабо зависи от големината на разрядния ток и намалява само при твърде форсирани процеси. Това се илюстрира от кривите, показани на фиг. III-66.

Капацитетът на алкалните акумулатори почти не зависи от температурата на околната среда, когато тя се изменя в границите  $+25 \div -17^\circ$ , стига температурата на акумулатора да не бъде понижена преди започването на разрядния процес. В този случай капацитетът се намалява, особено ако акумулаторът е желязо-никелов.



Фиг. III-65. Криви на зареждането и разреждането на желязо-никелов акумулатор ТЖН-350

Прието е да се смята, че най-ниската допустима температура за желязо-никеловите акумулатори е около  $-5^\circ\text{C}$ . Спадането на капацитета при ниски температури е по-слабо изразено при кадмиево-никеловите акумулатори (при  $-15^\circ\text{C}$  капацитетът на тези акумулатори възлиза на около 75% от нормалния). При повишаването на температурата до тази, при която е било извършено зареждането, капацитетът на алкалните акумулатори отново се възстановява. При замръзване на електролита пластините на алкалните акумулатори не се повреждат (както това става при оловните акумулатори).



Фиг. III-66. Криви, изразяващи зависимостта между капацитета на алкалните и оловните акумулатори и големината на разрядния ток

При повишаване на температурата на електролита до  $45^\circ$  капацитетът на алкалните акумулатори се повишава (което може да се отдаде на увеличената активност на желязото и на по-доброто използване на анода). Ако температурата превиши тази граница, акумулаторът изгубва безвъзвратно значителна част от капацитета си (около 50%).

При алкалните акумулатори съществуват твърде големи загуби на мощност вследствие на саморазреждането. Тези загуби достигат до 15% от капацитета на акумулатора.

В хода на нормалната експлоатация на алкалния акумулатор капацитетът му търпи известни изменения: в началото на експлоатацията (т.е. след първите цикли на зареждане и разреждане) капацитетът малко се увеличава, а след това постепенно спада. След 500-600 цикъла капацитетът намалява с 15-20%

При нормална експлоатация тяговите желязо-никелови акумулатори могат да работят непрекъснато в продължение на 7-8 години, а кадмиево-никеловите - в продължение на 5-6 години.

Коефициентите на полезно действие на алкалните акумулатори са значително по-ниски от тези на оловните акумулатори. Това се дължи на факта, че алкалните акумулатори имат по-голямо (около 10 пъти) вътрешно съпротивление, непрекъснато газоотделяне (при желязо-никеловите), както и загуби на енергия от нагряването на елемента и от саморазреждането. Коефициентите на полезно действие за алкалните акумулатори имат следните стойности:

1) ампер-часов к.п.д.:  $\eta_a = 0,65-0,70$  - за желязо-никеловите и  $\eta_a = 0,70-0,75$  - за кадмиево-никеловите акумулатори;

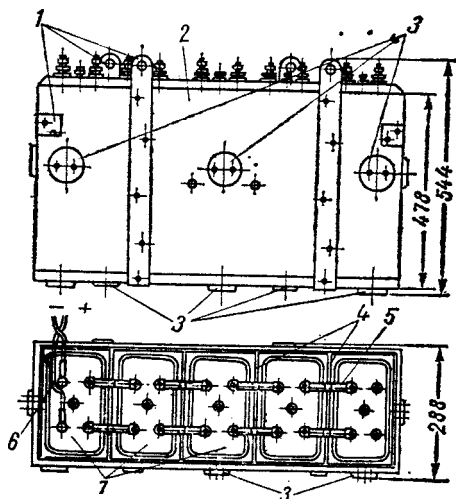
2) ват-часов к.п.д.:  $\eta_b = 0,45-0,50$  - за желязо-никеловите и  $\eta_b = 0,55-0,60$  - за кадмиево-никеловите акумулатори.

### 35. УСТРОЙСТВО НА РУДНИЧНИТЕ ТЯГОВИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Капацитетът на единичния акумулатор обикновено не превишава 1 kWh, докато за нормалната работа на минния рудничен локомотив са необходими по няколко десетки киловат-часа електроенергия за смяна. За да се избегне честата смяна на акумулаторите, както и за да се получи необходимото за захранването на тяговите електродвигатели напрежение електролокомотивът се съоръжава с група последователно съединени акумулатори, които образуват неговата тягова акумулаторна батерия. Тя има ток, равен на тока на един от акумулаторите, и напрежение, равно на сумата от напреженията на всички акумулатори.

За да се комплектува акумулаторната тягова батерия, акумулаторите се поставят в специални батерийни сандъци, изработени от стоманени листове с дебелина 5—8 mm.

За смекчаване на възможните удари и сътресения акумулаторите се изолират с дървени дъски, гумени калъфи и др. За облекчаване на експлоатацията на акумулаторните батерии, както и за осигуряването на по-добро охлаждане и укрепване на акумулаторите се групират по няколко в специални дървени сандъчета - секции, от които впоследствие се изгражда тяговата батерия. На фиг. III-67 е показано устройството на секция от акумулаторна батерия, съдържаща 5 оловни акумулатора.



Фиг. III-67. Секция от акумулаторна батерия:  
1-стоманен обковки; 2-дървен сандък; 3-гумени амортизиращи тампони; 4-дървени прегради; 5-междueleментни съединения; 6-междусекционни съединения; 7-акумулатори

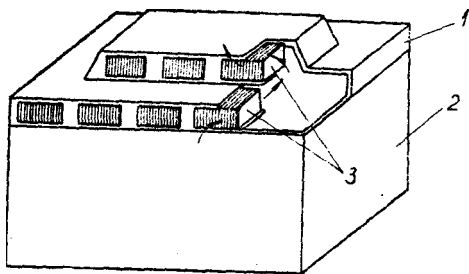
При работата на акумулаторите се отделя свободен водород, който при достигането на определена концентрация във въздуха може да създаде експлозивна смес. При възникването на местни нагрявания в съединителните елементи на акумулатора или при възникването на искра в затвореното пространство на батерийния сандък може да се образува взрив на водородо-кислородната смес, който при наличието на метан или въглищен прах в рудничния въздух може да предизвика общ взрив. Във връзка с това конструкцията на батерийния сандък трябва да бъде взривобезопасна или с повишена сигурност. Понастоящем съществуват две направления за създаването на взривобезопасни акумулаторни сандъци: прилагането на защита с пластини; прилагането на системи и начини за намаляване на концентрацията на водорода в затвореното пространство на

батерийния сандък.

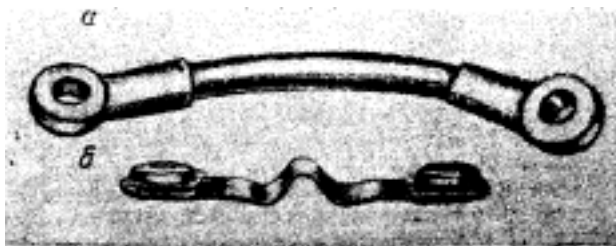
Защитата с пластини осигурява непрекъснатата вентилация на батерийния сандък. При появата на експлозия в сандъка защитата осигурява взривонепроницаемост, като същевременно изключва възможността от появата на свръхналягания, тъй като въздухът и продуктите от взрива свободно излизат (разбира се, охладени) в околното пространство. Защитата с пластини се състои от специални пакети с пластини, поместени в отвори, оформени в капака на батерийния сандък (фиг. III-68).

Пластинковите пакети се изработват от медни или месингови пластини с дебелина 0,5 mm и ширина, не по-малка от 50 mm. Разстоянието между отделните пластини трябва да бъде 0,5 mm. Намаляването на концентрацията на водорода в затвореното пространство на акумулаторния сандък с оглед на постигането на необходима взривобезопасност се

осигурява чрез използването на специална нагрята паладиева жичка, която осигурява безпламъчното изгаряне на отделения от акумулаторите водород.

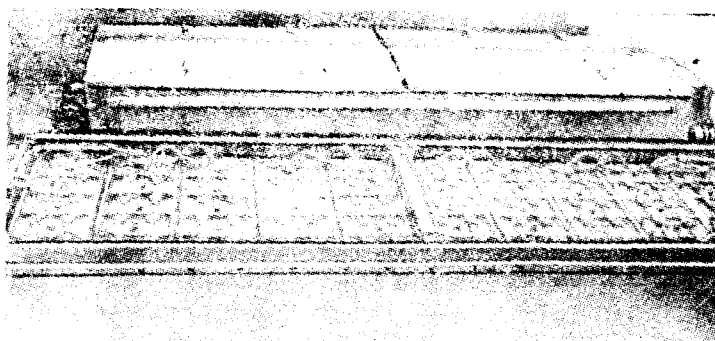


Фиг. III-68. Взривобезопасен акумулаторен сандък: 1-капак; 2-сандък; 3-пакети от метални пластини



Фиг. III-69. Междueleментни съединения: а—гъвкаво съединение; б—твърдо съединение

В батерийните сандъци, чиято конструкция осигурява повишена сигурност, се предвиждат само мерки, изключващи възможността за местно нагриване или искрообразуване в съединителните елементи на батерията. Самите акумулаторни сандъци са лек тип.



Фиг. III-70. Руднична тягова акумулаторна батерия

Електрическото свързване на елементите на акумулаторната батерия се осъществява посредством медни пластини (фиг. III-69 б) или кабелни жила с накрайници (фиг. III-69 а), които се наричат междueleментни съединения.

Разположението на акумулаторите в сандъка на руднична тягова батерия е показано на фиг. III-70.

## Б. Локомотивни токоизправителни уредби

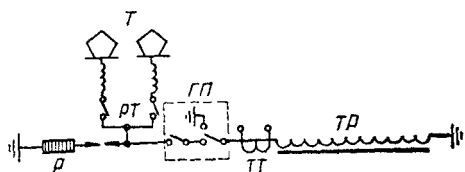
### 36. ПРИНЦИПНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СХЕМИ

Всяка локомотивна токоизправителна уредба се състои от: понижаващ трансформатор с устройство за регулиране на вторичното напрежение; преобразуватели на променливия ток; апаратура за управление, сигнализация и защита.

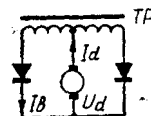
Първичната намотка на понижаващия (наричан още силов или тягов) трансформатор участва в променливотоковото първично звено от силовата верига на локомотива, принципната схема на което (фиг. III-71) практически е еднотипна за всички променливотокови електролокомотиви.

Електрическите схеми на веригите, в които участват преобразувателите на променливия ток, са твърде разнообразни и зависят в значителна степен от схемите на изправяне на тока и за регулиране на напрежението.

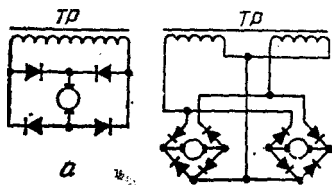
В променливотоковите електролокомотиви се прилагат схемите за двуполупериодно еднотактно (фиг. III-72) или двутактно (фиг. III-73) изправяне на еднофазния променлив ток. Важна особеност на схемата, показана на фиг. III-73 б е, че големината на сумарното изправено напрежение е два пъти по-голяма от напрежението на двигателите. Това позволява да се намали двойно в сравнение с мостовата схема (фиг. III-73 а) натоварването на комутиращите елементи, чрез които се регулира подаваното към изправителите напрежение. Същевременно двигателите работят в режим, еквивалентен на този при паралелното им свързване.



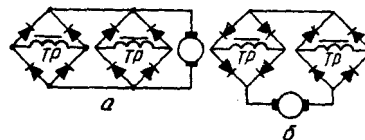
Фиг. III-71. Принципно схема на електрическа променливотокова верига: ТР-първична намотка на тяговия понижаващ трансформатор; ГП-главен прекъсвач; РТ-разединители на токоприемниците; Р-разрядник; Т-токоприемници; ТТ-токов трансформатор



фиг. III-72. Схема за двуполупериодно, еднотактно изправяне на тока



Фиг. III-73. Схема на системите за двуполупериодно, двутактно изправяне на тока



Фиг. III-74. Схеми на системите за изправяне на тока с последователно съединяване на изправителите: а-с паралелно съединяване на изправителните мостове; б- с последователно съединяване на изправителните мостове

В променливотоковите електролокомотиви се прилага както паралелното (фиг. III-74 а), така и последователното (фиг. III-74 б) свързване на изправителите.

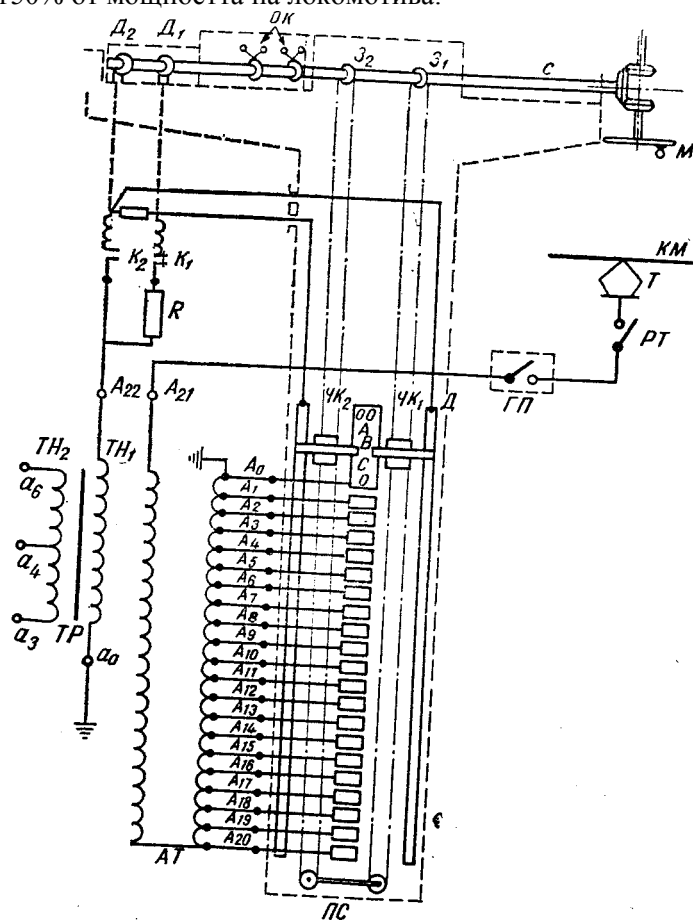
Схемите с последователно свързване позволяват разделното фиксиране на напрежението за всеки изправител, което е тяхно ценно свойство, позволяващо получаването на голям брой степени на регулиране на напрежението при минимален брой комутиращи елементи и трансформаторни изводи. Недостатъкът на тези схеми се състои в необходимостта от оразмеряването на комутиращата апаратура на пълния товар.

Твърде разнообразни са схемите за регулиране на подаваното към изправителите променливо напрежение. Използват се схемите, регулиращи напрежението откъм входа или откъм изхода на понижаващия трансформатор, които съответно се наричат схеми за високоволтово или за нисковолтово регулиране на напрежението. Първите се използват отдавна в променливотоковите локомотиви, поради което схемите и конструкциите на елементите им са достатъчно добре разработени. Нисковолтовото регулиране на напрежението все още няма установени схеми. Тези схеми обаче бързо се развиват, особено във връзка с появата на новите управляващи елементи - дросели с насищане, управляеми и неуправляеми силициеви изправители.

### 37. СХЕМИ ЗА ВИСОКОВОЛТОВО РЕГУЛИРАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО

Основните елементи на схемата за високоволтово регулиране на подаваното към изправителите напрежение са следните: автотрансформатор АТ с изводи (вж. фиг. III-75); превключвател на степените ПС с комутиращи, токоограничителни и превключващи елементи; понижаващ силов трансформатор ТР с постоянен коефициент на трансформация.

Автотрансформаторът и тяговият трансформатор са с общ магнитопровод и се поставят в общ казан с интензивно маслено охлаждане. Мощността на обединения трансформатор възлиза на около 150% от мощността на локомотива.



Фиг. III-75. Схема на система за високоволтов регулатор на подаваното към изправителите напрежение

Изводът  $A_{21}$  на автотрансформаторната намотка (вж. фиг. III-75) служи за захранването на обединения трансформатор от контактната мрежа КМ (захранването се осъществява чрез токоприемника Т разединителя на токоприемника РТ и главния прекъсвач на локомотива ГП), а изводите  $A_0 - A_{20}$  на същата намотка - за регулиране на напрежението, което се подава на тяговия трансформатор. За целта изводите на автотрансформатора се свързват с контактните пластини  $A_0 - A_{20}$ , върху които се плъзгат четковите контакти ЧК<sub>1</sub> и ЧК<sub>2</sub> на превключвателя на степените. Тези четкови контакти свързват контактните пластини с шините Г и Д, които от своя страна чрез контакторите К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub> се включват към извода  $A_{22}$  на първичната намотка ТН<sub>1</sub> на тяговия трансформатор ТР. Вторичната намотка ТН<sub>2</sub> на същия трансформатор чрез изводите си  $a_d, a_3, a_4$  и  $a_6$  осъществява захранването на изправителите съгласно схемата, показана на фиг. III-72. Контактните К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub> са снабдени

с дъгогасителни камери. Отварянето на контактите им се управлява от гърбицата на монтираните върху вала С дискове Д<sub>1</sub> и Д<sub>2</sub>. Върху същия вал са закрепени и водещите звезди З<sub>1</sub> и З<sub>2</sub> на верижните предавки, чрез които се привеждат в движение потопените в маслена баня четкови контакти. По този начин се създава постоянна зависимост на състоянието на контакторите от местоположението на контактите ЧК<sub>1</sub> и ЧК<sub>2</sub>. Съпротивлението R служи за шунтиране на секциите на автотрансформатора през време на превключването им. Това позволява опростяването на конструкцията на четковите контакти и осигурява нормалната им работа без специални дъгогасителни устройства. Валът С е свързан чрез зъбни колела с маховика М, чрез който машинистът го привежда ръчно във въртене. Превключването от една позиция на друга става при едно пълно завъртане на маховика М. На фиг. III-76 са показани по-характерните последователни положения, които четковите контакти заемат при пълно завъртане на маховика М. Като пример е разгледано преминаването от 17 на 18 позиция. В изходното положение (вж. фиг. III-76 а) четковите контакти се намират върху пластината А<sub>17</sub> и захранването на тяговия трансформатор се осъществява чрез контактора К<sub>1</sub> който е затворен. На изходната позиция контакторът К<sub>2</sub> е изключен. Когато контактът ЧК<sub>2</sub> се придвижи и легне върху контактната пластина А<sub>18</sub> контакторът К<sub>2</sub> се затваря (положение в), като захранването на тяговия трансформатор се осъществява през двата контактора, докато съпротивлението R шунтира включената между изводите А<sub>17</sub> и А<sub>18</sub> секция на автотрансформаторната намотка. Това води до ограничаване на тока в споменатата секция, без да се прибегва до прекъсване на токовата верига. По-нататъшното въртене на маховика М, респективно на вала С, предизвиква отварянето на контактора К<sub>1</sub> и придвижването на четковия контакт ЧК<sub>1</sub>. Контактът се отваря, преди четковият контакт да е напуснал пластината А<sub>17</sub> (положение з). Когато четковият контакт ЧК<sub>1</sub> легне върху контактната пластина А<sub>18</sub> (положение е), контакторът К<sub>1</sub> отново се затваря. Малко преди завършването на пълния оборот на маховика М се отваря контакторът К<sub>2</sub> с което се изключва съпротивлението R и се завършва преминаването на новата позиция. Благодарение на описаната по-горе последователност при затварянето и отварянето на контакторите допирането на четковите контакти към пластините и отделянето им от тях не се извършва под товар, с което се облекчава конструкцията на превключвателя.

Общият вид на агрегата за високоволтово регулиране на подаваното към изправителите напрежение е показан на фиг. III-77.

### 38. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ПРОМЕНЛИВ ТОК

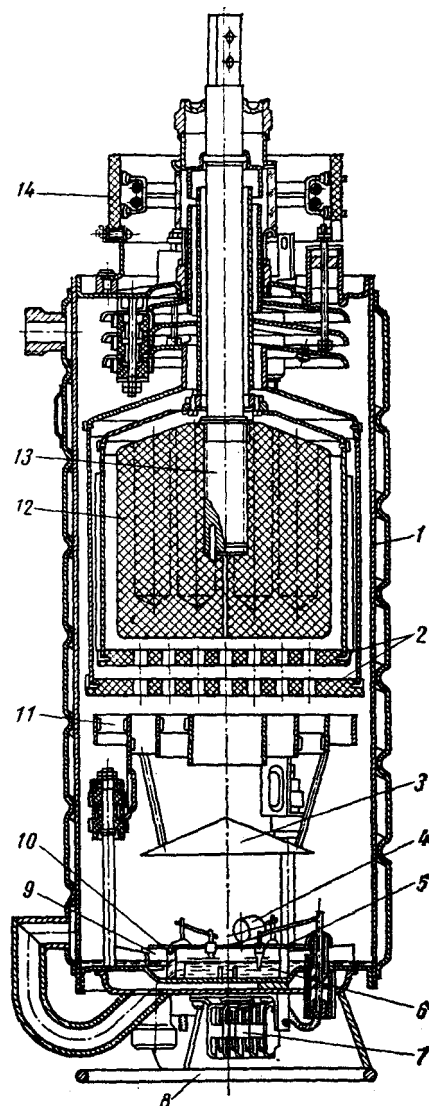
Токоизправителните уредби на променливотоковите локомотиви се съоръжават с игнитрони или с полупроводникови вентили, които се наричат общо статични преобразуватели на ток.

/ . *Игнитрони*. Отнасят се към категорията на йонните вентили и в същност представляват едноаноден живачен токоизправител със запоен метален съд и с периодично запалване на дъгата.

Основните елементи на игнитрона са: корпус с фабрично създаден в него вакуум от порядъка на  $(0,1—0,05) \cdot 10^{-6}$  живачен стълб; главен анод; катод (живачна вана); спомагателен анод; запалители (игнайтери); решетки; филтър; защитен екран; охладителна риза; изводи с проходни изолатори и уплътнения; нагревател; успокоителна решетка.

На фиг. III-78 е показано устройството на съветския игнитрон ИВП-500/5.

Работната част (главата) на главния анод на игнитроните се изработва от графит и се завинтва към тоководещо стебло, което преминава през капака на съда посредством стъклен проходен изолатор, снабден с метални уплътнители.



Фиг. III-78. Игнитрон ИВП-500/6: 1-корпус със заварена конструкция; 2-решетки; 3-екран; 4-спомогателен анод; 5-запалител; 6-живачен катод; 7-табло с изводи; 8-поставка; 9-успокоителна решетка; 10-кварцово стъкло; 11-филтър; 12-анод; 13-стъбло на анода; 14-нагревател

Корпусът на съда е заварена конструкция и се изработва от неръждаема стомана.

Запалителите представляват постоянно потопени в живачна вана електроди с накрайници от карборунд  $\text{SiC}$  или боров карбид  $\text{B}_4\text{C}$ . Предназначението им е да предизвикват появата на катодно петно върху катода на игнитрона.

Предназначението на спомогателния анод е да привлече отделените от катодното петно свободни електрони (както и тези, отделени при ударната йонизация на живачните пари) и да предизвика появата на дъга в игнитрона.

Решетките на игнитрона имат за цел да поемат дъгата от спомогателния анод, да я приближат до главния анод и да облекчат по този начин запалването на работната дъга между главния анод и катода. Изработват се от графит и в конструктивно отношение представляват пробити с цилиндрични отвори дискове, закрепени в ламаринени маншети, които обхващат главния анод.

Предназначението на филтъра (който представлява концентрично разположени ламаринени цилиндри, поставени пред решетките на анода и закрепени помежду си чрез радиални пластини) е да осигури равномерното разпределяне на електронния поток при движението му към работната повърхност на главния анод.



Защитният екран се разполага между филтъра и катода на игнитрона и има за цел да насочи образуващите се на повърхността на катода живачни пари към страничните стени на корпуса, които служат като кондензационна повърхност, от температурата на която се определя налягането на живачните пари във вентила. Освен това екранът (който може да бъде изработен от ламарина или от графит) защитава решетките и работната повърхност на главния анод от пряко-то топлинно излъчване на катодното петно, чиято температура достига 2100°C.

За да се предотврати кондензирането на живак върху стъклените проходни изолатори, изводите на главните аноди на игнитроните се затоплят чрез електрически нагреватели.

Успокоителната решетка се разполага върху повърхността на живачната вана и има за цел да ограничи колебанията на живачната повърхност, които възникват в резултат на сътресенията, съпътстващи движението на подвижния състав. Конструкцията на успокоителната решетка е подобна на тази на филтъра на игнитрона.

Игнитроните се охлаждат с вода или с антифриз, които се пропускат през водната риза на корпуса. Необходимата за нормалната работа на изправителя температура е 35 - 45°C

Номиналното напрежение на игнитроните обикновено е в границите 600 - 1650 V, а минималният им експлоатационен срок - 5—6 години.

Запалването и горенето на дъгата в игнитрона става в полупериода на променливото напрежение, през който анодът е положителен по отношение на катода. В избрания момент през единия от запалващите електроди се пропуска силен токов импулс. Импулсът нагрява живака около запалващия електрод, в резултат на което се образуват живачни пари и катодно петно. Спомагателният анод и решетките поемат и прехвърлят на главния анод потока от електрони, в резултат на което се запалва главната дъга. Горенето на дъгата продължава, докато напрежението на анода остава по-голямо от падението на напрежението в дъгата, след което дъгата угасва.

На фиг. III-79 е показана схемата за управление на запалването на блок от два игнитрона (на схемата е да-ден само единият от тях). Запалващите импулси се получават от зареждащия трансформатор 1, първичната намотка на който се захранва с променлив ток с напрежение 220 V. Към вторичната намотка са свързани дефазиращият дросел 2 и дроселът 3, който е със силно насищащо се ядро. Същевременно към вторичната намотка на трансформатора е включен и кондензаторът 4, който в същност подава необходимите за запалването токови импулси.

Индуктивността на дроселната бобина 2 и капацитетът на кондензатора 4 се избират така, че напрежението на кондензатора да изостава с 90° от вторичното напрежение на зареждащия трансформатор 1. Запалителят 5 се захранва чрез сухите изправители 6 и 7. При повишаване на напрежението на вторичната намотка на трансформатора кондензаторът се зарежда. При определена големина на вторичния ток на трансформатора импедансът на бобината 3 силно спада. В този именно момент кондензаторът се разрежда чрез запалителя. Това разреждане на кондензатора предизвиква образуване на дъга между катода и запалителя, която създава катодно петно.

Спомагателната дъга се запалва обикновено преди появяването на положително напрежение на главния анод.

След възникване на катодното петно дъгата се прехвърля на възбудителния анод 9, който получава положително напрежение малко по-рано от главния анод 10. В същото време положително напрежение получава и решетката 11. По този начин се осигурява запалване на главната дъга от самото начало на положителния полупериод на напрежението между главния анод и катода.

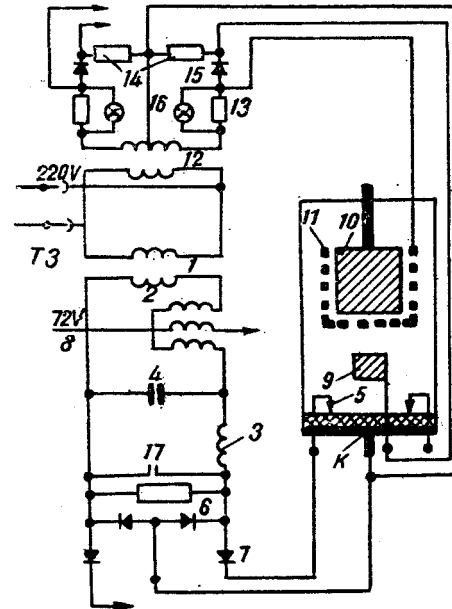
Решетката и спомагателният анод се захранват от трансформатора 12, първичната намотка на който получава променливо напрежение 220 V.

Решетката и спомагателният анод се свързват към изводите на вторичните намотки на трансформатора през съпротивленията 13 и 14 и сухите изправители 15. Сигналните лампи 16, които служат за контрол на работата на игитроните, се запалват всеки положителен полупериод на променливото напрежение при задействане на запалителя и образуване на дъга на спомагателния анод. Прекъснатото светене на сигналните лампи показва неправилно действие на запалителната система.

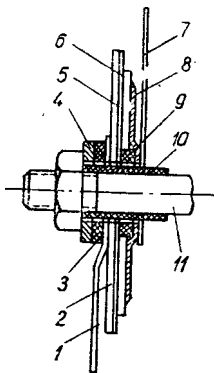
Запалването на игитроните и тяхната нормална работа започва след отворяне на контактора 17.

Моментът на запалването може да се измени чрез регулиране насищането на дефазирания дросел. За тази цел върху ядрото на дросела е поставена постояннотокова намотка 8, захранвана с напрежение 72 V.

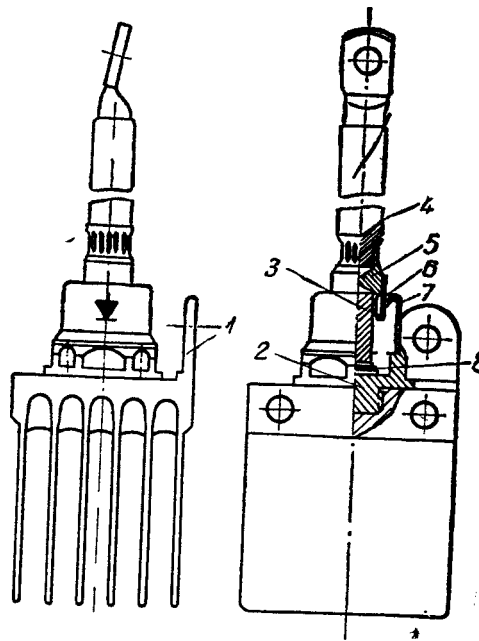
2. *Полупроводникови изправители.* Полупроводниковите изправители се различават от живачните по малките си маса и габарити, липса на обратно запалване, устойчива работа в широк температурен диапазон, висок к.п.д. достатъчна механична якост, дълъг срок на работа и просто обслужване. От значителния брой полупроводникови изправители от различен тип най-разпространени в електрическия подвижен състав са селеновите (фиг. III-80) и силициевите изправители (фиг. III-81) поради повишените стойности на допустимата плътност на тока, на обратното напрежение, на експлоатационната температура, компактността и високия к.п.д. Селеновите изправители се използват във веригите за управление на игитроните и защитните релета като изправителни мостове, а също в оперативните постояннотокови вериги като запущащи устройства. От силициевите изправители се комплектуват силовите преобразователни уредби за захранване на тяговите двигатели или на електродвигателите за спомагателните машини на локомотивите.



Фиг. III-79. Схема за управление на запалването на блок от два игитрона



Фиг. III-80. Селенов токоизправител: 1-извод от долния електрод; 2-метална пластина на долния електрод; 3-изолационна шайба; 4-метална шайба; 5-селенов слой; 6-горен електрод от специална сплав; 7-извод от горния електрод; 8-контактна пружинна шайба; 9-изолационна шайба; 10-изолираща тръба; 11-метална шпилка



Фиг. III-81. Силициев токоизправител ВК-200: 1-охладител; 2-корпус; 3-вътрешен извод; 4-гъвкав вътрешен извод; 5-втулка; 6-изолатор; 7-капачка; 8-полупроводник