

 ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА “ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АПАРАТИ”

ДИПЛОМНА РАБОТА

на тема:

Изпитване на акумулатори за стартова способност

ДИПЛОМАНТ:

Цветелин Л. Качов

Ф№ 02027081

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

ст.н.с. д-р Стоян Гишин

катедра “Електрически апарати”

София, 2002

Факултет: Електротехника
Дата на задаване: 27.05.2002г.
Дата на предаване: 13.07.2002г.

Катедра Електрически апарати
Утвърждавам:
Декан:
/доц. д-р К. Захаринов/

ЗАДАНИЕ

за дипломна работа

На студента Цветелин Любомиров Качов Ф№ 02027081
Специалност: Електротехника
Специализация: Електрически апарати

Тема: Изпитване на стартова способност на акумулаторни батерии

Заявител на темата: Технически университет - София

Исходни данни: Да се използват акумулаторни батерии тип 12V55Ah и 12V62Ah, които са блоково електроформирани с импулсен ток

Обяснителна записка:

1. Увод
2. Основни сведения за акумулаторите
3. Методи за изпитване и изисквания
4. Описание на използваната опитна постановка
5. Експериментални данни
6. Анализ на експерименталните данни
7. Литература

Графична част: Някои от изпитванията да бъдат показани в графичен вид

Ръководител:
/ст.н.с. д-р С. Гишин/

Ръководител катедра:
/доц. д-р инж. В. Пиперов/

СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД	4
I ГЛАВА: Основни сведения за акумулаторите	5
I. 1. Източници на енергия	5
I. 2. Оловни акумулатори	9
I. 3. Електрически характеристики на оловни акумулатори	14
II ГЛАВА: Методи за изпитване и изисквания	18
II. 1. Методи за изпитване	18
II. 2. Електрически изисквания	21
III ГЛАВА: Описание на използваната опитна постановка	25
III. 1. Използвани акумулатори	25
III. 2. Уреди	27
III. 3. Постановка	28
IV ГЛАВА: Експериментални данни	31
V ГЛАВА: Анализ на експерименталните данни	54
ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА	58

УВОД

През изтеклите години човечеството улеснява все повече своя начин на живот чрез научно-техническия напредък като разработва нови, полезни, мобилни и миниатюрни устройства. Но, за да работят, те се нуждаят от енергия, която да се получава от възможно най-малките и леки източници. Те трябва да са евтини за производство и експлоатация, екологично чисти и, не на последно място, трябва да имат голям специфичен капацитет и малко време за отдаването на енергията, запасена в тях.

В настоящата дипломна работа се разглеждат стартерни акумулаторни батерии, използвани в транспортни машини предимно за привеждане на двигателя с вътрешно горене в работно състояние. В този процес основно значение се приписва на стартерната способност на акумулаторната батерия. Тягови акумулаторни батерии за основно задвижване на машини или акумулаторни батерии за захранване на уреди с електроенергия с постоянни параметри през целия период на изразходване на запасената електрическа енергия не са предмет на изпитване поради минималната степен на важност на тяхната стартерна способност. Като изключение може да се спомене използването на акумулаторни батерии в непрекъсваеми токозахранващи устройства, в които акумулаторната батерия трябва да захранва консуматора за кратко време, докато поддържащият агрегат достигне номинални параметри.

Стартерната способност се влияе силно от ниските температури. През зимата на 2001/2г. температурите достигнаха рекордно ниски стойности от две десетилетия насам като в продължение на дни средните температури се задържаха под -18°C . Това затрудни привеждането на много от транспортните машини в работно състояние и постави под въпрос готовността на акумулаторните батерии за изпълнение на стандарта и показва важността и необходимостта от изследване на стартерната способност на акумулаторните батерии.

I ГЛАВА

ОСНОВНИ СВЕДЕНИЯ ЗА АКУМУЛАТОРИТЕ

I.1. Източници на енергия

Още в древността, след като хората овладяват различните сечива и инструменти, обръщат поглед и към различните източници на енергия. Сред първите усвоени източници са топлината на огъня и силата на водата и вятъра. Въпреки постоянния допир до електричеството във вид на мълнии, усвояването и използването на електрическата енергия започва сравнително късно.

Първи опити в изучаването на електричеството правят древните гърци, обогатявайки своите знания за електростатичните заряди и техните свойства. Евклид изучава електростатичните сили на привличане между отделните предмети след бързо търкане един в друг. Може да се каже, че това е и първата електрическа енергия, получена от човечеството.

До края на 18^{-ти} век единствените източници на електрически ток са електростатичните машини, основани на електростатично индуцирани заряди и тяхното натрупване. С помощта на тези машини се получават високи напрежения от няколко десетки хиляди волта и много малки електрически заряди от 10^{-6} до 10^{-4} С.

През 1786г. италианският физиолог Л.Галвани в своите опити показва, че ако се допрат два различни метала към оголен нерв на жаба, то възниква мускулно съкращение. Върху тези разсъждения през 1800г. А.Волта създава първия химически източник на ток, наричана “волтов стълб”.

Химически източник на ток (ХИТ) е устройство, в което енергията на химическата реакция се превръща непосредствено в електрическа енергия. През първата половина на 19^{-ти} век използването на ХИТ дава нов тласък в развитието на електрофизиката и се откриват много от

основните зависимости като взаимодействието на електрическите токове (А.Ампер, 1820г.), пропорционалността между тока и напрежението (Г.Ом, 1827г.), електромагнитната индукция (М.Фарадей, 1831г.), топлинното действие на електрическия ток (Дж.Джау, 1843г.) и др.

ХИТ са използвани масово и всеобхватно до 60^{-те} години на 19^{-ти} век, когато се създават първите електромагнитни генератори. Получаваната електрическа енергия от генераторите е с по-добри електрически и най-вече икономически показатели, което спомага масовото ѝ навлизане в бита и производството. Така използването на ХИТ намалява значително до 20^{-те} години на 20^{-ти} век, когато проходащата електроника изпитва нуждата отново от независими, малки и компактни източници на ток. Заедно с въвеждането на сухия електролит от Ж.Л.Лекланше през 1865г., ХИТ са най-подходящите източници за преносими радиостанции и други малки електронни устройства и електрически машини. [2]

Вторичните химически източници на ток или за по-кратко т.нар. акумулатори, са подобни на първичните ХИТ, но при тях отдаваната електрическа енергия предварително се запасява в тях от външен източник. По този начин акумулаторите могат да се използват многократно чрез зарядно-разрядни цикли. При първичните ХИТ, след получаването на енергията от химическите реакции протичащи във вложените в конструкцията елементи, не могат да се използват повече и подлежат на замяна и изхвърляне, което поражда значителни екологични проблеми.

Зараждането на акумулаторите започва през началото на 19^{-ти} век паралелно с усвояването на първичните ХИТ. Построяването на първия оловен акумулатор се преписва на Г.Планте (1834-1889г.). През 1859г. той демонстрира оловен акумулатор с изключително голям разряден ток, който надвишава неколkokратно всички известни до този момент източници на ток. Акумулаторът на Планте се състоял от два оловни листа наложени един върху друг и изолирани с грубо платно, чиято обща

повърхност достигала 10 кв.м. Недостатък на първите акумулатори бил сепараторът от платно, който се разрушава бързо в киселината.

Голям тласък в развитието на оловните акумулатори дава Фором (1841-1898г.), който през 1882г. построява първият акумулатор с намазани плочи с паста от окислено олово приготвено в сярна киселина. Фолкмаром (1847-1884г.) през 1881г. патентова електродна плоча във вид на решетка. През същата година Селон патентова решетка от олово с добавка на антимон (Sb) за усиляване на механичната здравина. В общи линии устройството на съвременните акумулатори се запазва и до днес, като се търсят нови начини за увеличаване на капацитета и живота и намаляване на цената, теглото и експлоатационните разходи [6].

Освен оловните акумулатори са разработени и значителен брой други типове акумулатори, които биха могли да се групират в зависимост от използваният електролит:

- кисел електролит (оловни и оловно-водородни);
- алкален електролит (никел-железни, никел-кадмиеви, никел-металхидратни, никел-водородни, сребърно-цинкови);
- твърд електролит (сярно-натриеви);
- разтопен електролит (хлорно-литиеви, железосулфатни-литиеви).

Никел - кадмиевите (Ni-Cd) акумулатори се нареждат на второ място по разпространеност и цена след оловните. Основните им предимства са, че лесно се поддават на херметизация, необслужваеми са, имат голям специфичен капацитет и дълъг живот (повече от 1000 цикъла). Недостатък е големият саморазряден ток, който е пет пъти по-голям от този на оловните акумулатори. Т.нар. “memory effect” също е силно изразен, което затруднява използването им като изравняващ източник и по тази причина никел - кадмиевите акумулатори могат да се използват само в режим на пълен зарядно-разряден цикъл.

“Memory”- ефектът се проявява, когато разределеният акумулатор до някакъв остатъчен капацитет $C_{ост}$ започне да се зарежда. При следващото

разреждане действителният капацитет на акумулатора намалява с този остатъчен капацитет $C_{ост}$. Това т.нар. “запомняне” може да се отстрани с няколко пълни (дълбоки) цикъла на разряд-заряд. [12]

Никел - металхидратните (Ni-MH) акумулатори са по-скъпи от никел-кадмиевите, но имат с 33% по-голям специфичен капацитет и неколkokратно по-слабо изразен “memory effect”.

Литиево-йонните акумулатори са най-новата технология за съхранение на електрическа енергия. По-комплексни експлоатационни параметри и характеристики превъзхождат всички видове акумулатори, но пред масовото им внедряване в практиката все още голяма бариера е тяхната висока цена. В момента се използват във високотехнологични устройства и прототипи.

I. 2. Оловни акумулатори

Оловните акумулатори твърдо са завоювали първото място като най-използвани акумулатори. Това се дължи на:

- ниска цена (лесно производство, ниска цена на оловото);
- високи електрически експлоатационни характеристики (голям разряден ток, нисък саморазряд, отсъствие на ефекта “памет”, голям брой работни цикли заряд-разряд);
- голям температурен интервал на работа;
- лесна и проста поддръжка.

Към недостатъците им можем да отнесем:

- нуждата от обслужваемост;
- голямо тегло.

Според своето използване оловните акумулатори се делят на две групи: стартерни оловни акумулатори (в т.ч. и херметически) и тягови акумулаторни батерии.

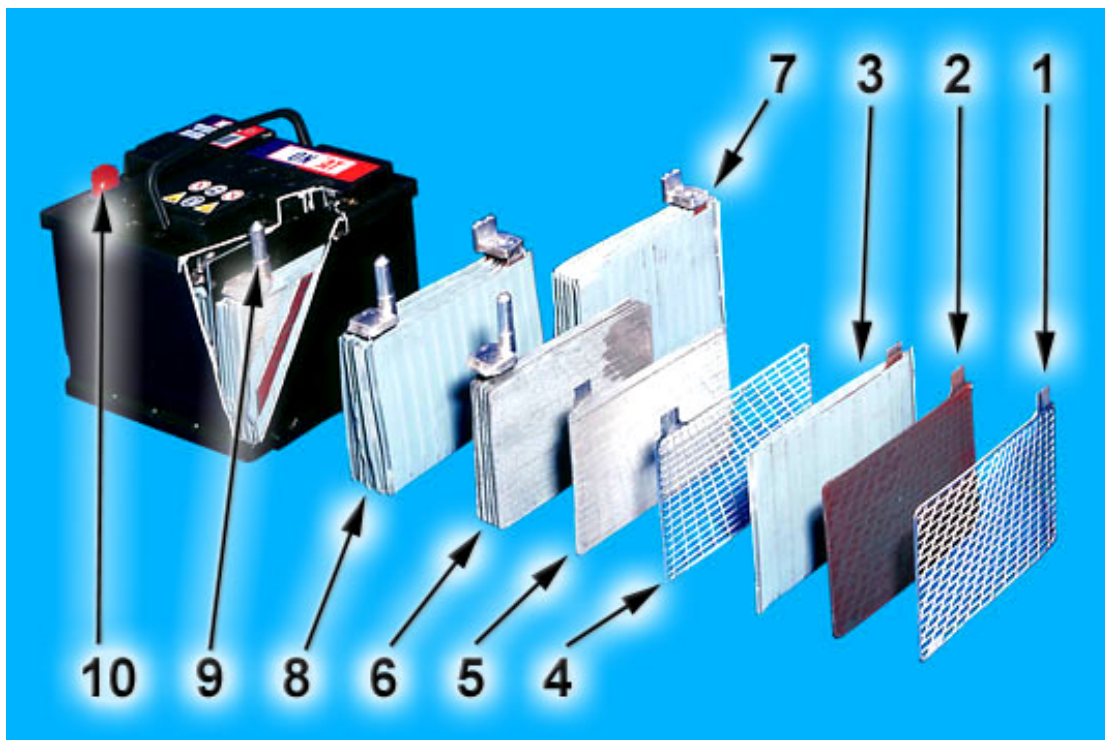
Стартерните оловни акумулатори се използват за получаване на голям разряден ток (от 180А до 800А) за кратко време (от 3 до 7сек.) в леки и товарни автомобили, специализирани превозни средства, стационарни дизел агрегати и др. Предназначението им е да осигурят максимален ток към стартера (мошен електродвигател), който развърта съответната машина до номиналните ѝ обороти за нормална работа. От тях не се изисква голям капацитет, а ниско вътрешно съпротивление. Постоянно се поддържат заредени до номиналният си капацитет и трябва да осигурят номинални параметри при екстремални метеорологични условия (при минус 18°C, съгласно БДС-EN 60095-1).

Тяговите акумулаторни батерии (ТАБ) или, според западната терминология акумулатори с дълбоки (пълни) цикли (deep cycle), се използват в електрокари, стационарни захранващи устройства и др. При тях се изисква голям номинален капацитет, който се отдава през целия

работен ден (8 часа) и стартерният ток не е от значение. Важен показател е животът, измерен в цикли. Обикновено при правилна експлоатация достига до 1400 цикъла заряд-разряд.

Херметическите стартерни оловни акумулатори (sealed lead-acid batteries) са създадени през 70-те години на миналия век, за да посрещнат нуждата от евтини и необслужваеми акумулатори. При тях се използва специален електролит във формата на гел или погълнат от сепаратора и отпада нуждата за постоянен контрол нивото на електролита и доливането му при нужда. За да се постигне това, тези акумулатори трябва да се зареждат с напрежение по-малко от 2.23V, защото в противен случай се отделят големи количества кислород и водород, които не могат да рекомбинират и акумулаторът се поврежда много бързо от високото налягане и температура.

Стандартният стартерен акумулатор е съставен от следните елементи показани на фиг. 1 [10]:



Фиг. 1

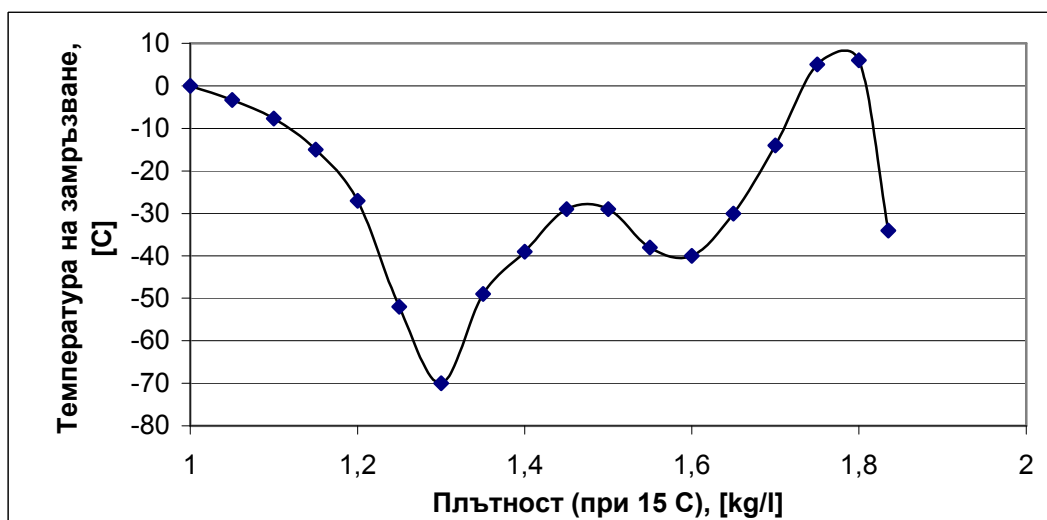
1. Положителна решетка.
2. Положителна плоча
3. Положителна плоча в джоб сепаратор
4. Отрицателна решетка
5. Отрицателна плоча
6. Полублок отрицателни плочи
7. Полублок положителни плочи
8. Блок плочи
9. Отрицателен извод
10. Положителен извод

Основен елемент са двата типа плочи - положителни и отрицателни. За тяхна основа се използва решетка от олово с добавки за по-висока здравина и електропроводимост. Основната ѝ задача е да осигурява здрава конструкция с минимално тегло, ниско електрическо съпротивление и равномерно разпределение на ток в активната маса на плочите. Върху нея се намазва и задържа оловната паста. Тя се приготвя от оловен прах (Pb), най-често оловни оксиди (Pb_xO_x), който се обработва в сярна киселина (H_2SO_4) и в следствие на това повече от половината се превръща в $PbSO_4$. Така приготвените плочи не са електроформирани и не се различават значително по състав.

Между плочите се поставя сепаратор (разделител) от материал с микропореста структура, за да може електролита свободно да преминава през него. Той осигурява електроизолация от късо съединение и необходимия запас от електролит между плочите. Качеството му влияе съществено върху работата и живота на акумулатора. Цялата конструкция се поставя в химическо устойчиви на сярна киселина кутии с високо изолационно съпротивление. [1]

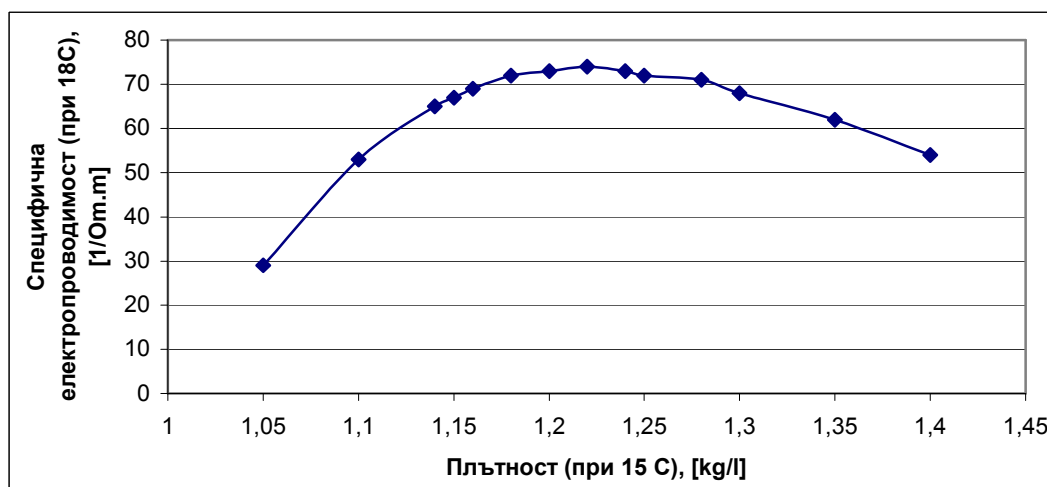
Електролитът в оловния акумулатор е разтвор на сярна киселина (H_2SO_4) във вода (H_2O). Концентрацията му се определя от свойствата му да издържа на ниски температури без да замръзва (фиг. 2) и да има

максимална проводимост (фиг. 3) [4]. Плътност от 1,28 кг/л на електролита при напълно зареден акумулатор и 1,12 кг/л при разреден се определя като най-благоприятна за работата му. При тези плътности на електролита температурата на замръзване е най-ниска, специфичната електропроводимост и дифузията на йоните през сепаратора са максимални, разтварянето на оловния диоксид в електролита е минимално и т.н.



Фиг. 2

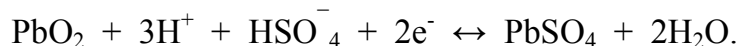
Температура на замръзване на разтвор на сярна киселина във вода



Фиг. 3

Специфична електропроводимост на разтвор на сярна киселина във вода

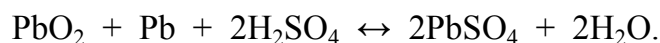
През 1882г. Д.Гладстон и А.Трайбе предлагат своята “Теория за двойна сулфатизация”, според която положителната плоча при заряд се превръща от оловен сулфат (PbSO_4) в оловен диоксид (PbO_2) и обратно при разряд:



Отрицателната плоча при заряд се превръща от оловен сулфат (PbSO_4) в гъбесто олово (Pb) и обратно при разряд:

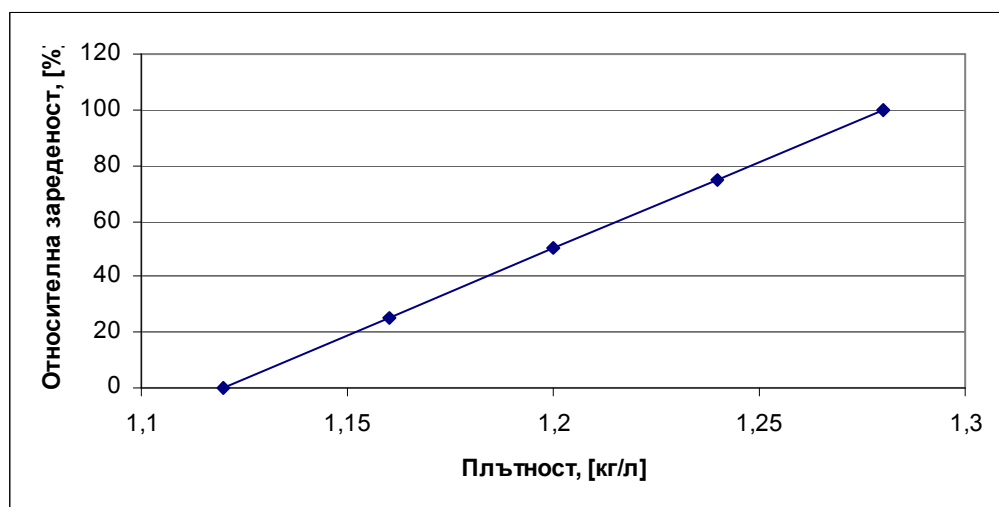


Сумарно основните химически процеси при разряд и заряд на оловните акумулатори са:



При електроформирането на акумулаторните плочи се създава микропореста структура и различен химичен състав на плочите. В зависимост от броя и големината на порите се определя и активната повърхност на плочите, която влияе на капацитета и на стартерния ток на акумулатора.

От химичните реакции се вижда, че при заряд оловния сулфат от плочите се превръща в гъбесто олово, оловен диоксид и сярна киселина, с което концентрацията ѝ в електролита се увеличава. Това увеличение е пропорционално на запасената електрическа енергия в акумулатора (фиг. 4) и дава точна представа за заредеността му [5].



Фиг. 4 Относителна зареденост на акумулатор

I. 3. Електрически характеристики на оловни акумулатори

I. 3. 1. Електродвижещо напрежение (е.д.н.) E , [V]

Е.д.н. на акумулаторите е разликата на електродните потенциали, измерени при отворена външна верига:

$$E = \varphi_+ - \varphi_- , [V]$$

където: φ_+ и φ_- - са равновесните потенциали на положителния и отрицателния електрод.

Е.д.н. на акумулаторни батерии E_δ , състояща се от n броя акумулатори, съединени последователно е равна на сумата от е.д.н. на тези акумулатори:

$$E_\delta = n.E, [V].$$

Е.д.н. на оловния акумулатор зависи от химическите свойства на веществата, участващи в електродните процеси и не зависи от размера на електродите и количеството на активна маса, съдържаща се в тях, и слабо зависи от температурата, което може да бъде пренебрегнато. Електролитът на оловния акумулатор участва в електродните процеси и изменя плътността си, което води до право пропорционално изменение на е.д.н. при разряд и заряд по следната формула:

$$E = 0,84 + \gamma, [V]$$

където: γ е плътността на електролита при 15°C.

Вижда се, че е.д.н. на акумулаторът се изменя от 2,12V в заредено състояние до 1,96V при разредено състояние [1].

I. 3. 2. Вътрешно съпротивление, [Ω]

Съпротивлението, което оказва акумулаторът при протичане на електрически ток при заряд и разряд се нарича вътрешно съпротивление и е от порядъка на няколко m Ω . Пълното вътрешно съпротивление се изразява с формулата:

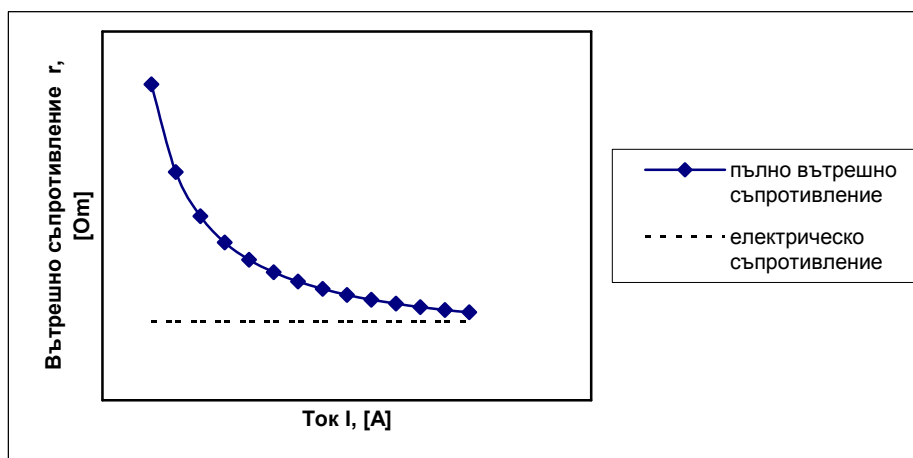
$$r = r_0 + r_n, [\Omega]$$

където: r_0 – електрическо съпротивление на електродите, електролита, сепаратора и други тоководещи детайли;

r_{Π} – поляризационно съпротивление, което се получава при протичане на електрически ток и зависещо от неговата стойност, т. е. не се подчинява на закона на Ом.

Поляризационното съпротивление r_{Π} (Фиг. 5) увеличава вътрешното съпротивление на акумулатора и се дължи на възникването на е.д.н. на поляризация E_{Π} [9]. Може да се изрази чрез:

$$r_{\Pi} = E_{\Pi} / I, [\Omega].$$



Фиг. 5 Вътрешно съпротивление на акумулатор

По време на разряд пълното вътрешно съпротивление не остава постоянна величина, а се променя с изменението на плътността на електролита и химическия състав на положителния и отрицателния електрод, т.е. то зависи от степента на зареденост и температурата. При разряд и заряд съпротивлението може да бъде определено по формулите:

$$r_p = \frac{E - U_p}{I_p}, [\Omega]$$

и

$$r_3 = \frac{U_3 - E}{I_3}, [\Omega]$$

където:

I_p - разряден електрически ток

I_3 - заряден електрически ток

U_p – електрическо напрежение при разряд

U_3 – електрическо напрежение при заряд

I. 3. 3. Електрическо напрежение U , [V]

Наличието на вътрешно съпротивление в ХИТ обуславя разрядно напрежение винаги по-малко от е.д.н. на акумулатора, т. е.

$$U_p = E - r_p \cdot I_p, \text{ [V]}.$$

Зарядното електрическо напрежение се изразява с уравнението:

$$U_3 = E + r_3 \cdot I_3, \text{ [V]}.$$

I. 3. 4. Номинален капацитет C , [Ah]

Тази електрическа характеристика показва количеството електричество, което може да се получи от акумулатора при разряд и се изразява в амперчасове - Ah.

Разрядният капацитет C_p е количеството електричество в Ah, което може да се получи при разряда на акумулатора до допустимо минимално електрическо напрежение за време t_p :

$$C_p = \int_0^{t_p} i_p dt, \text{ [Ah]}.$$

При разряд с еднакъв във времето ток, разрядният капацитет се определя от произведението на стойността на разрядния ток I_p и продължителността на разряда t_p :

$$C_p = I_p \cdot t_p, \text{ [Ah]}.$$

Количеството електричество, което се подава на акумулаторите при заряд, се нарича заряден капацитет. При постоянна стойност на зарядния ток I_3 зарядния капацитет се определя по формулата:

$$C_3 = I_3 \cdot t_3, \text{ [Ah]}.$$

Основните фактори, които оказват съществено влияние върху номиналния капацитет, са количеството активна маса на електродите, конструкцията на електродите и тяхното състояние, ток на разряд, концентрацията на електролита, обемна порестост на микропорестия сепаратор, порестост на активната маса и др.

I. 3. 5. Стартерен ток, [A]

Стартерният разряден ток е стойността на тока, който може да се отдаде от акумулатор при температура минус 18°C за 10 секунди без да пада напрежението под 7,5V. Стойността на максималния разряден ток основно зависи от порестостта на активната маса и на сепаратора, състоянието на активната маса на положителните и отрицателните електроди, електрическото съпротивление на електролита и микропорестия сепаратор и температурата.

В американската литература за стартерен ток се използва терминът “cold cranking amps” (CCA), като зададената температура е малко по-висока и отговаря на 0°F (минус 17,8°C), разрядното време е увеличено на 30 секунди и напрежението е над 7,2V. [11]

Стартерният ток е основната електрическа характеристика за стартерните оловни акумулаторни батерии. Високите му стойности дават възможност за по-добра експлоатация на стартерните оловни акумулаторни батерии и ги прави ценово по-конкурентно способни.

В настоящата дипломна работа се изпитва стартерната способност на стартерни оловни акумулаторни батерии. Целта е да се установи дали стандартът БДС EN60095-1/2000 е удовлетворен и оттук доколко успешно те могат да бъдат практически експлоатирани.

II ГЛАВА

МЕТОДИ ЗА ИЗПИТВАНЕ И ИЗИСКВАНИЯ

II. 1. Методи за изпитване

Методите за изпитване на стартерните оловни акумулаторни батерии се стандартизират от Националните стандартизационни институти. Един от водещите стандарти в Европа бе Германският стандарт DIN, на който се основава старият български държавен стандарт от 1979г. БДС 3969-79. С обединението на Европа се зараждат нов вид международни стандарти на Европейската Общност. Във връзка с предстоящото влизане на България в EU през 2000г. се прие новият български стандарт БДС EN 60095-1, който е идентичен на европейския стандарт EN 60095-1:1991, заедно с изменения A2:1995, A11:1995 и A13:1997.

БДС EN 60095-1 се отнася за оловни акумулаторни батерии с номинално напрежение 12V, използвани най-вече като източник на ток за стартиране и запалване на двигатели с вътрешно горене, както и за осветителни и спомагателни инсталации на автомобили, снабдени с двигатели с вътрешно горене. Тези акумулаторни батерии са наречени “стартерни батерии”. Батерии, които имат номинално напрежение 6V, също са включени в областта на приложение на стандарта, но всички зададени напрежения трябва да бъдат разделени на две.

Стандартът се прилага за батерии, използвани в леки автомобили, лекотоварни и товарни автомобили и мотокари с нормална експлоатация и лекотоварни и товарни автомобили и мотокари с интензивна експлоатация. Определя основните изисквания, основните функционални характеристики, съответните методи за изпитване и резултатите, които трябва да постигнат различните типове стартерни батерии.

Новите батерии могат да бъдат доставяни в две състояния:

- готови за експлоатация, напълнени със съответния електролит до максималното ниво,
- сухи заредени, ненапълнени с електролит.

Като за “нови” се считат батерии, не по-късно от:

- 30 дни след датата на наливане и формиране при заредени батерии с електролит,
- 60 дни след датата на експедиране, означена от производителя, при сухи заредени батерии.

Батерията трябва да се зарежда при напрежение $16,0\text{ V} \pm 0,1\text{ V}$ в продължение на 24h, зарядният ток не трябва да превишава $5 I_n = C_n / 20$. Температурата на батерията трябва да се поддържа в границите от $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ако е необходимо, трябва да се използва подходящо външно съоръжение за регулиране на температурата, например вана с вода. В случай на презареждане на батерията след изпитване за определяне на стартерната способност, продължителността на зареждането може да се ограничи на 16h.

Плътността на електролита, за всички батерии, в състояние на пълна зареденост, трябва да е в границите между $1,27\text{ kg/l}$ и $1,30\text{ kg/l}$ при температура 25°C , освен ако производителят не е задал нещо друго. Напрежението при отворена верига, в състояние на пълна зареденост, след престой минимум 24h трябва да е в границите между $12,70\text{V}$ и $12,90\text{V}$ при температура 25°C , освен ако производителят не е задал друго. Производителят задава плътност на електролита (или напрежението при отворена верига) с допустими отклонения. В случай, че тази информация не е доставена, изпитванията на батериите трябва да се извършат с електролит, чиято плътност е равна на $1,28\text{ kg/l} \pm 0,01\text{ kg/l}$ при температура 25°C или с напрежение при отворена верига $12,76\text{V} \pm 0,06\text{V}$ при 25°C .

Обхватът на използваните електрически измервателни уреди трябва да бъде съобразен с големината на измерваните напрежения или

токове. За аналоговите измервателни уреди отчитането на измерваната величина трябва да става в последната третина на скалата. Уредите които се използват за измерване на напрежение трябва да са волтметри с клас на точност 1 или по-висок клас на точност. Съпротивлението на използваните волтметри трябва да е най-малко $300 \Omega/V$. Уредите, които се използват за измерване на ток, трябва да са амперметри с клас на точност 1 или по-висок клас на точност. Комплектът амперметър, шунт и присъединителни проводници трябва да е с клас на точност 1 или по-висок клас на точност.

За измерване на температурата може да се използват термометри с подходящ обхват на измерване. Големината на едно деление от скалата им трябва да е най-много 1К. Точността на калибриране на уреда трябва да не е по-малка от 0,5К. За измерване на плътност на електролита трябва да се използват денсиметри с градуирана скала. Големината на едно деление от скалата трябва да е най-много 0,005kg/l, а точността на калибриране трябва да е 0,005kg/l или по-висока.

II. 2. Електрически изисквания

Основните електрическите характеристики на стартерните оловни акумулаторни батерии са:

Стартерен ток - големината на разряден ток I_{cc} , зададен от производителя, позволяващ да се достигне минимално крайно разрядно напрежение $U_f = 7,5V$ след 10s разреждане при минус $18^{\circ}C$.

Капацитет на стартерна батерия - определя се при температура $25^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$, като капацитетът може да се зададе от производителя или като номинален капацитет C_n , [Ah] или като номинален резервен капацитет $C_{r,n}$, [min].

Номинален капацитет C_n - количеството електричество (в Ah), което една батерия може да отдаде чрез ток с определена сила I_n за 20h:

$$I_n = \frac{C_n}{20}, [A]$$

до крайно разрядно напрежение $U_f = 10,5V$.

Действителен капацитет C_e - трябва да се определя посредством разреждане на батерията с постоянен по големина ток I_n до крайно разрядно напрежение $U_f = 10,5V$.

Номинален резервен капацитет $C_{n,r}$ - продължителността в минути по време на която батерията може да отдава ток $I = 25A$ до крайно разрядно напрежение $U_f = 10,5V$.

Действителен резервен капацитет $C_{r,e}$ - трябва да се определя посредством разреждане на батерията с постоянен по големина ток $I = 25A$ до крайно разрядно напрежение $U_f = 10,5V$.

Възприемчивост на зареждане - изразява се с тока I_{ca} , който батерията, която е била разредена частично, възприема по време на зареждане при $0^{\circ}C$ в режим на зареждане при постоянно напрежение $14,4V$.

Най-напред батериите се подлагат на следната поредица от последователни изпитвания:

1-ва проверка: проверка на капацитета C_e или $C_{r,e}$;

1-во изпитване: изпитване на стартерна способност;

2-ра проверка: проверка на капацитета C_e или $C_{r,e}$;

2-ро изпитване: изпитване на стартерна способност;

3-та проверка: проверка на капацитета C_e или $C_{r,e}$;

3-то изпитване: изпитване на стартерна способност;

Зададените стойности за C_e или $C_{r,e}$ и за стартерна способност трябва да бъдат достигнати по време на най-малко едно от трите изпитвания. Ако зададените стойности се достигнат по време на 1-вото или по време на 2-рото изпитване, не е необходимо да се извършва цялата поредица от изпитвания, с изключение на батериите, които след това се подлагат на изпитване на възприемчивост на зареждане.

Различните проверки и изпитвания се извършват както следва:

- Проверка на действителния капацитет C_e , [Ah]

По време на цялото изпитване батерията трябва да е потопена във вана, напълнена с вода, чиято температура се поддържа $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Долната част на полюсните изводи на батерията трябва да е на най-малко 15 mm, но не повече от 25 mm над нивото на водата във ваната. Стените на батерията трябва да са на разстояние най-малко 25 mm от стените на ваната или от стените на други батерии, потопени в същата вана.

Батерията трябва да се разрежда при постоянен ток, с големина на тока $I_n = C_n/20 \pm 2\%$ от номиналната стойност, до момента, в който напрежението на полюсните изводи на батерията достигне $10,5\text{V} \pm 0,05\text{V}$. Продължителността на разреждането $t(\text{h})$ трябва да се регистрира. Разреждането трябва да започне в интервала от 1h до 5h от момента на приключване на зареждането. Тогава капацитетът C_e е равен на:

$$C_e = t \cdot I_n, [\text{Ah}].$$

- Проверка на действителният резервен капацитет $C_{r,e}$ [Ah]

Батерията трябва да се постави във вана с вода като в гореописаното изпитване. В интервала от 1h до 5h от момента на приключване на зареждането батерията трябва да се подложи на непрекъснато разреждане с ток, чиято големина е $25A \pm 1\%$, до момента, в който напрежението на полюсните изводи на батерията достигне $10,5V \pm 0,05V$, като продължителността на разреждането $t(\text{min})$ трябва да се регистрира.

- Изпитване на стартерна способност

След период на престой, до 24h след зареждането, батерията трябва да се постави в хладилна камера, която е снабдена със система за принудителна циркулация на въздуха, при температура минус $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, където трябва да престои докато температурата на вътрешните клетки достигне минус $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ или обикновено се приема, че изискваната температура се достига след период на престой в хладилната камера най-малко 24h. Тогава батерията трябва да се подложи на разреждане или вътре, или извън хладилната камера, не по-късно от 2min от момента на прекратяване на охлаждането с ток, чиято големина е равна на разрядния ток, зададен от производителя (I_{cc}). По време на разреждането този ток трябва да се поддържа постоянен, с допустимо отклонение $\pm 0,5\%$.

Изпитването трябва да продължи след период на престой $10s \pm 1s$. Батерията трябва да се разрежи с ток, чиято големина е $0,6 I_{cc}$. Токът по време на разреждането трябва да се поддържа постоянен, допустимо отклонение $\pm 0,5\%$. Разреждането трябва да се прекрати, когато напрежението на полюсните изводи на батерията достигне 6V и трябва да се регистрира изразена в секунди (t'_{6V}).

Продължителността на разреждането (t'_{6V}) се използва за определяне на стартерния капацитет при ниска температура (C'_{cc}) изразен в амперчасове в следното уравнение:

$$C'_{cc} = \frac{t'_{6V}}{3600} \cdot 0,6 I_{cc}, [Ah].$$

Тогава пълният стартерен капацитет при ниска температура (C_{cc}) е равен на:

$$C_{cc} = C'_{cc} + \frac{10}{3600} \cdot I_{cc}, [Ah]$$

или

$$C_{cc} = \frac{I_{cc}}{3600} \cdot (10 + 0,6 \cdot t'_{6V}), [Ah]$$

като t_{6V} се определя по следния начин:

$$t_{6V} = t'_{6V} + \frac{10}{0,6} = t'_{6V} + 17, [s].$$

Съгласно предназначението си батериите трябва да отговарят на следващите изисквания:

- Продължителност на разреждане $t_{6V} \geq 90s$.
- Стартерният капацитет при ниска температура C_{cc} трябва да е $C_{cc} \geq 0,2C_n$ или $C_{cc} \geq 0,12C_{r,n}$, като се приема, че това изискване е напълно постигнато, когато продължителността на разреждане $t_{6V} \geq 150s$.

- Изпитване на възприемчивост на зареждане

Батерията трябва да се разрежи при температура $25^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ с ток:

$$I_0 = \frac{C_c}{10}, [A]$$

в продължение на 5h. 10min след края на разреждането батерията трябва да се постави в изпитваното пространство на хладилната камера и да се охлажда, докато температурата на една от вътрешните клетки стане равна на $0^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$. Тогава батерията трябва да се подложи на зареждане при постоянно напрежение $14,4V \pm 0,05V$. След 10min трябва да се регистрира големината на зарядния ток I_{ca} , като трябва да е изпълнено условието $I_{ca} \geq 2 I_0$.

III ГЛАВА

ОПИСАНИЕ НА ИЗПОЛЗВАНАТА ОПИТНА ПОСТАНОВКА

III. 1. Използвани акумулатори

Използвани са акумулатори тип 12V55Ah и 12V62Ah стандартно производство на “Елхим-Искра” АД, гр. Пазарджик, които са блоково електроформирани с импулсен ток в Технически Университет - София. От представените данни от каталога на фирмата (Табл. 1):

Тип		12V55Ah-CL	12V62Ah-CL
No. DIN		55530	56250
Студен разряд (cold discharges, T=-18 °C), [A]	DIN EN60095-1 10'' $\geq$ 7.5V	420	450
	IEC 60'' $\geq$ 8.4V	255	285
Размери, [mm]	L	241	241
	W	175	175
	H	167	167
	TH	190	190
маса без електролит, [kg]		11.2	12.8
приблизителна маса на електролита, [kg]		3.6	3.5
схема на свързване		0	0
фиксиращ борд		B3	B3
тип на капака		C	C
централно газоотвеждане		да	да
Фиг. N		1	1

Табл. 1 Технически данни на акумулатори

виждаме, че при масовото производство на акумулаторни батерии се налага унифициране на детайлите. Най-добре това унифициране се изразява в размерите на корпусите на батериите. Това спомага за по-добрата взаимозаменяемост на акумулаторните в различните марки и модели превозни средства. Използват се стандартни изводи и бордове за закрепване. Трябва да споменем по малкото количество електролит в по-голямата модификация, изразено и в относително, и в абсолютно отношение.

III. 2. Уреди

При изпитването на акумулатори за стартерна способност са използвани уреди и апарати, отговарящи на БДС EN 60095-1 както следва:

- Термометър живачен. Обхват: от -13°C до $+113^{\circ}\text{C}$; големина на едно деление: 1°C ; относителна грешка $< 0,1^{\circ}\text{C}$; отговаря на изискванията на БДС EN 60095-1.
- Денсиметър. Обхват: от $1,100\text{ kg/l}$ до $1,300\text{ kg/l}$; големина на едно деление: $0,005\text{ kg/l}$; относителна грешка: $< 0,005\text{ kg/l}$; отговаря на изискванията на БДС EN 60095-1.
- Хронометър механичен. Обхват: от 0 min до 30 min ; големина на едно деление: $0,2\text{ sec}$; относителна грешка: $< 0,05\%$; отговаря на изискванията на БДС EN 60095-1.
- Хладилна камера; отговаря на изискванията на БДС EN 60095-1.
- Персонален компютър (ПК). ATX, Intel Pentium, Microsoft Windows 98SE, LabVIEW 5; отговаря на изискванията на БДС EN 60095-1 относно отчитане на време ($\pm 1\%$).
- Интерфейсен микроконтролер (ИМ). Microchip PIC16F87х 20MHz , 10-bit АЦП, ЦАП; отговаря на изискванията на БДС EN 60095-1 относно точност на електрическите измервателните уреди (клас 1).
- Регулируем разряден генератор на ток (РРГТ). Отговаря на изискванията на БДС EN 60095-1 относно точност на разрядния ток и напрежение и входно съпротивление на измервателни уреди.

III. 3. Постановка

За изпитването на акумулатори за стартерна способност е използвана опитна постановка (Фиг. 6) разработка на Технически университет - София. Тя е изградена на базата на компютърно управляем модул “Регулируем разряден генератор на ток” (РРГТ), който се управлява посредством “Интерфейсен микроконтролер” (ИМ). ИМ е изграден на базата на интегрираният универсалния микропроцесор PIC16F87х разработка на американската фирма Microchip.

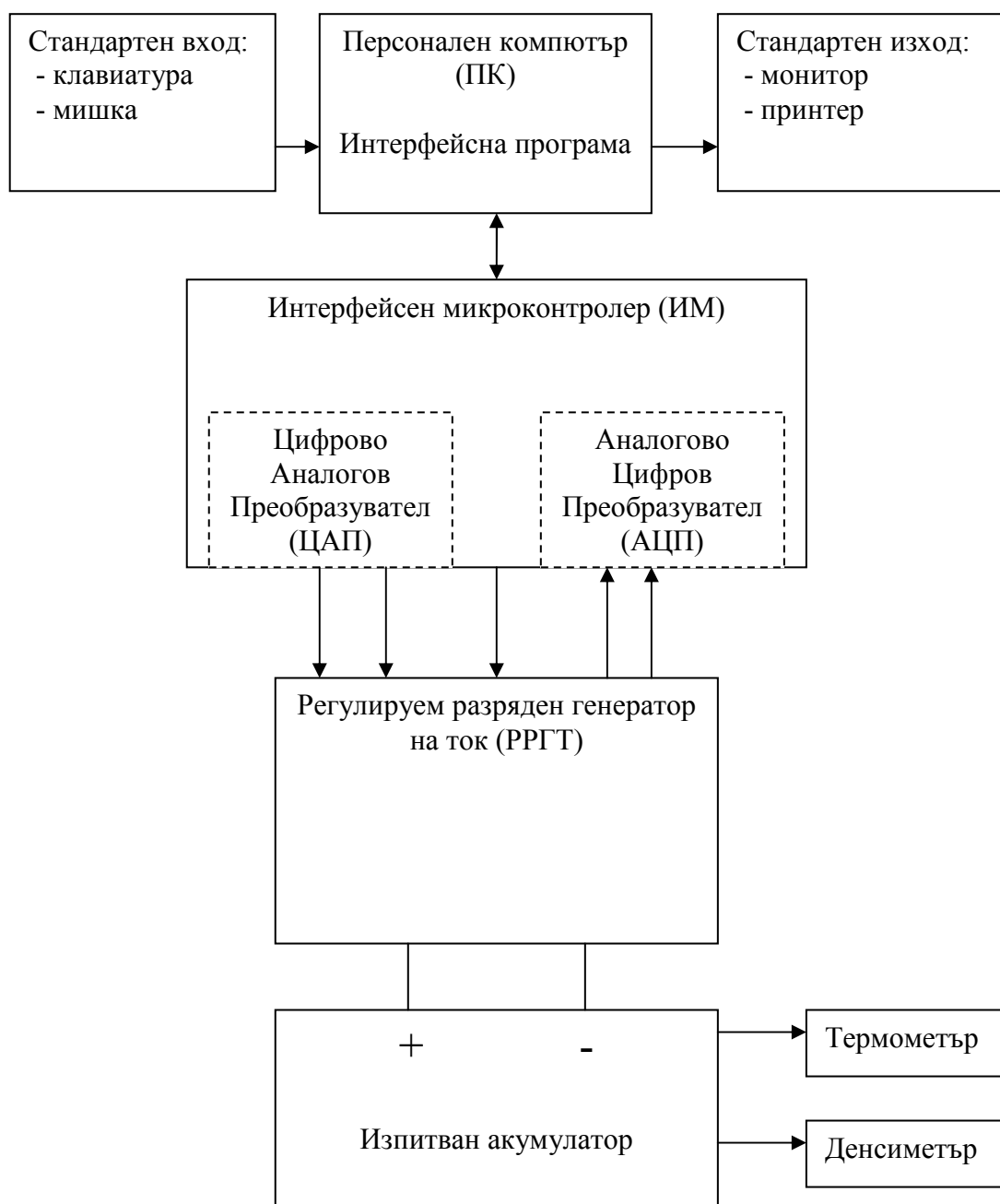
Връзката между РРГТ и ИМ се осъществява през 4 аналогови канала и един релеен канал. Два от аналоговите канала са свързани към два 10 битов АЦП стандартно вградени в микропроцесора PIC16F87х и осигуряват обратната връзка на използваната опитна постановка по ток и напрежение. Тъй като измерването се извършва в крайните области на дискретизация по амплитуда на АЦП, нивата на дискретизация по амплитуда са $2^{10} = 1024$ и обхвата на измерване е от 0V до 15V може да се приеме, че абсолютната грешката от дискретизацията на сигнала е по-малка от 20 mV, което е по-малко от зададената от стандарта допустима грешка. Другите два аналогови канала са свързани към ЦАП и предават необходимия (зададен) ток на разряд и, ако е необходимо и напрежение, като аналогов сигнал към РРГТ. Релейният канал се използва за пускане и спиране на процеса на разряд и предава към РРГТ само две нива: включено и изключено.

Микропроцесорът има вграден асинхронен сериен интерфейс, което способства за директното му свързване със стандартният сериен порт на персоналният компютър (ПК). Предаването на данните между ИМ и ПК се осъществява чрез цифров електрически сигнал по стандарта RS-232, което осигурява висока достоверност и точност на предаваните данни.

Персоналният компютър е стандартно оборудван като е инсталирана програмата LabVIEW 5.0 на фирмата National Instruments Corporation. С нейна помощ е разработен и се изпълнява скрипт файл написан на езика "G" с графичен потребителски интерфейс и управляваща логика.

Графичният интерфейс има няколко полета и бутони, чрез които потребителят задава входните параметри и получава моментните стойности в текстов и графичен вид. Полетата и бутоните са:

- Discharge time, [h:min] - време на разряд.
- Бутон регулиране по ток, [ON/OFF] - включва и изключва поддържането на постоянен разряден ток.
- Ток на разреждане, [A] - зададен ток на разреждане поддържан постоянен.
- Минимално напрежение, [V] - минимално зададено напрежение при достигането на което процесът на разреждане се прекратява.
- Измерен ток, [A].
- Измерено напрежение, [V].
- Elapsed time, [h:m:s] - общо време през което е протекъл процесът на разреждане.
- $Q_{tot} (I \cdot t)$, [Ah] - общо отдадено количество електричество от акумулатора по време на разряд.
- $W_{tot} (I \cdot U \cdot t)$, [Wh] - общо количество отдадена електрическа енергия от акумулатора по време на разряда.
- Графично представяне на измерения ток и напрежение във функция от времето в секунди: $I = f(t)$, [A] и $U = f(t)$, [V].



Фиг. 6 Опитна постановка

IV ГЛАВА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ

В следващите таблици са дадени експерименталните данни от изпитванията на стартерната способност на стартерни оловни акумулаторни батерии. В табл. 2 са показани данни от редовното производство на “Елхим-Искра” АД, гр. Пазарджик. Акумулаторните батерии са взети с формирана активна маса залети с електролит с плътност 1,28 kg/l и са изпитани на стартерна способност за 10 s съгласно БДС EN60095–1/2000 г. Проведените изпитания на блоково електроформирани стартерни оловни акумулаторни батерии с импулсен ток и компютърно управление от инж. Хаджистоянов са показани на табл. 3 и табл. 4

В табл. 2 са показани експерименталните данни от изпитаните съгласно стандарта акумулаторни батерии със стойности на разрядния ток I_{cc} от 177A до 283A. Вижда се, че крайното разрядно напрежение U_f е достигнало стойности съответно от 7,7V до 7,6V. Отдаденият електрическият заряд Q_{tot} е достигнал стойности съответно от 0,588Ah до 0,878Ah. Отдадената електрическата енергия W_{tot} е достигнала стойности съответно от 4,929Wh до 7,015 Wh.

N на изпитване	I, [A]	U, [V]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
1	177	7,7	0,588	4,929
2	193	7,7	0,653	5,434
3	211	7,6	0,719	5,906
4	231	7,7	0,727	5,924
5	255	7,6	0,866	7,007
6	283	7,6	0,878	7,015

Табл. 2 Експериментални данни

Разпечатки от интерфейсната програма са показани на стр. 32 - 37.

В табл. 3 са показани експерименталните данни от изпитаните съгласно стандарта акумулаторни батерии със стойности на разрядния ток I_{cc} от 317A до 362A. Вижда се, че крайното разрядно напрежение U_f е достигнало стойности съответно от 9V до 8V. Отдаденият електрическият заряд Q_{tot} е достигнал стойности съответно от 0,976Ah до 1,208Ah. Отдадената електрическата енергия W_{tot} е достигнала стойности съответно от 8,88Wh до 10,15Wh.

N на изпитване	I, [A]	U, [V]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
7	351	7,9	1,193	9,55
8	324	8,9	1,084	9,742
9	357	8	1,109	9,002
10	362	8,1	1,116	9,186
11	362	8,3	1,208	10,15
12	317	8,8	1,064	9,456
13	329	8,8	1,101	9,773
14	319	9	0,976	8,88

Табл. 3 Експериментални данни

Разпечатки от интерфейсната програма са показани на стр. 39 - 46.

В табл. 4 са показани експерименталните данни от изпитаните съгласно стандарта акумулаторни батерии със стойности на разрядния ток I_{cc} от 263A до 361A. Вижда се, че крайното разрядно напрежение U_f е достигнало стойности съответно от 9,7V до 8,9V. Отдаденият електрическият заряд Q_{tot} е достигнал стойности съответно от 0,790Ah до 1,136Ah. Отдадената електрическата енергия W_{tot} е достигнала стойности съответно от 7,732Wh до 10,269 Wh.

N на изпитване	I, [A]	U, [V]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
15	339	8,9	1,136	10,269
16	263	9,6	0,881	8,499
17	267	9,6	0,891	8,614
18	257	9,7	0,790	7,732
19	307	9,4	0,942	8,853
20	361	8,9	1,103	9,953

Табл. 4 Експериментални данни

Разпечатки от интерфейската програма са показани на стр. 48 - 53.

V ГЛАВА

АНАЛИЗ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ДАННИ

Проведен е задълбочен анализ на получените експериментални данни от изпитването на стартерна способност. На табл. 5 са показани получените експериментални данни за достигнато крайно разрядно напрежение U_f при повишаване на разрядния ток I_{cc} . От анализа на данните се вижда, че отдаденият електрическият заряд Q_{tot} и отдадената електрическата енергия W_{tot} са ниски и имат стойности съответно от 0,588Ah до 0,866Ah и от 4,929Wh до 7,007Wh

N на изпитване	I, [A]	U, [V]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
1	177	7,7	0,588	4,929
2	193	7,7	0,653	5,434
3	211	7,6	0,719	5,906
4	231	7,7	0,727	5,924
5	255	7,6	0,866	7,007

Табл. 5

В табл. 6 се вижда, че се повишава разрядния ток I_{cc} и е в границите от 257А до 317А и крайното разрядно напрежение U_f е от 7,6V до 9,7V. Независимо от по-големия разряден ток се вижда, че присъства един акумулатор с достигнато крайно разрядно напрежение от 7,6V.

N на изпитване	I, [A]	U, [V]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
18	257	9,7	0,79	7,732
16	263	9,6	0,881	8,499
17	267	9,6	0,891	8,614
6	283	7,6	0,878	7,015
19	307	9,4	0,942	8,853
12	317	8,8	1,064	9,456

Табл. 6

В табл. 7 се вижда, че се повишава разрядния ток I_{cc} и е в границите от 319А до 362А и крайното разрядно напрежение U_f е от 7,9V до 9,0V.

N на изпитване	I, [A]	U, [V]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
14	319	9	0,976	8,88
8	324	8,9	1,084	9,742
13	329	8,8	1,101	9,773
15	339	8,9	1,136	10,269
7	351	7,9	1,193	9,55
9	357	8	1,109	9,002
20	361	8,9	1,103	9,953
10	362	8,1	1,116	9,186
11	362	8,3	1,208	10,15

Табл. 7

Проведен е и подробен анализ на получените експериментални данни по стойност на достигнатото минимално крайно разрядно напрежение U_f след 10 секунди разряд.

В табл. 8 минималното крайно разрядно напрежение се изменя от 7,6V до 7,7V, а разрядният ток от 177A до 283A. Отдаденият електрическият заряд Q_{tot} е достигнал стойности съответно от 0,588Ah до 0,878Ah. Отдадената електрическата енергия W_{tot} е достигнала стойности съответно от 4,929Wh до 7,015 Wh.

N на изпитване	U, [V]	I, [A]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
3	7,6	211	0,719	5,906
5	7,6	255	0,866	7,007
6	7,6	283	0,878	7,015
1	7,7	177	0,588	4,929
2	7,7	193	0,653	5,434
4	7,7	231	0,727	5,924

Табл. 8

В табл. 9 минималното крайно разрядно напрежение се изменя от 7,9V до 8,3V, а разрядният ток от 351A до 362A. Отдаденият електрическият заряд Q_{tot} е достигнал стойности съответно от 1,109Ah до 1,208Ah. Отдадената електрическата енергия W_{tot} е достигнала стойности съответно от 9,005Wh до 10,15 Wh.

N на изпитване	U, [V]	I, [A]	Qtot, [Ah]	Wtot, [Wh]
7	7,9	351	1,193	9,55
9	8	357	1,109	9,002
10	8,1	362	1,116	9,186
11	8,3	362	1,208	10,15

Табл. 9

В табл. 10 минималното крайно разрядно напрежение се изменя от 8,8V до 9.0V, а разрядният ток от 317A до 361A. Отдаденият електрическият заряд Q_{tot} е достигнал стойности съответно от 0,976Ah до 1,136Ah. Отдадената електрическата енергия W_{tot} е достигнала стойности съответно от 8,880Wh до 10,269 Wh.

N на изпитване	U, [V]	I, [A]	Q_{tot} , [Ah]	W_{tot} , [Wh]
12	8,8	317	1,064	9,456
13	8,8	329	1,101	9,773
8	8,9	324	1,084	9,742
15	8,9	339	1,136	10,269
20	8,9	361	1,103	9,953
14	9	319	0,976	8,88

Табл. 10

В табл. 11 минималното крайно разрядно напрежение се изменя от 9,4V до 9,7V, а разрядният ток от 257A до 307A. Отдаденият електрическият заряд Q_{tot} е достигнал стойности съответно от 0,790Ah до 0,942Ah. Отдадената електрическата енергия W_{tot} е достигнала стойности съответно от 7,732Wh до 8,853 Wh.

N на изпитване	U, [V]	I, [A]	Q_{tot} , [Ah]	W_{tot} , [Wh]
19	9,4	307	0,942	8,853
16	9,6	263	0,881	8,499
17	9,6	267	0,891	8,614
18	9,7	257	0,79	7,732

Табл. 11

В заключение от направения анализ на получените експериментални данни се вижда, че стартерната способност на блоково електроформираните акумулаторни батерии е значително по-добра.

ИСПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА:

1. Бабаев, А. Стартерные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, Военное издательство, М., 1967, стр. 28-36, 51-71.
2. Багоцкий, В., А. Скундин, Химические источники тока, изд. Энергия, М., 1981, стр. 5-6, 149-153, 169-192.
3. БДС EN60095–1/2000 г.
4. Вайнел, Дж. Аккумуляторные батареи, Госэнергоиздат, М., 1960, стр. 5, 123.
5. Гишин, С. Аккумулятори. Избор, поддръжка, тестване и експлоатация, ТУ-София, С., 1999.
6. Дасоян, М., И. Агуф, Современная теория свинцового аккумулятора, изд. Энергия, Л., 1975, стр. 5-7.
7. Добош, Д. Электрохимические константы, изд. МИР, М., 1980, стр. 30, 31.
8. “Елхим-Искра” АД, гр. Пазарджик,
<http://www.digsys.bg/eunetweb/elhimiskra/para1.htm>, 2000.
9. Зорохович, Е. и кол. Устройства для заряда и разряда аккумуляторных батарей, изд. Энергия, М., 1975, стр. 5-9.
10. “МОНБАТ” АД, гр.Монтана, Стартерни батерии за автомобили,
http://www.monbat.com/c_and_t_b.html, 2001.
11. “BatteryStuff.com”, Battery care tutorial - lead acid batteries,
http://www.4unique.com/battery/battery_tutorial.htm, 2002.
12. “Florida Oasis”, Memory effect of nickel-cadmium batteries,
http://www.battery-index.co/memory_nickel-cadmium_batteries.shtml, 2001.