

BASIC CHARGING MODES OF TRACTION BATTERIES

*Dimitrov Atanas, Burgas Free University, atanas@bfu.bg
Toshkov Angel, Burgas Free University, angel@bfu.bg
Jelev Janislav, Burgas Free University, jelev@bfu.bg
Monova-Jeleva Maria, Burgas Free University, mariaj@bfu.bg*

Abstract: This paper contains research and analysis of the various factors indicating the impact on productivity of modern traction batteries. Polarization processes occurring during charge and discharge phases in lead traction batteries, the influence of temperature and concentration of the electrolyte are examined in detail. Modern techniques for safe and fast charge of traction batteries are analyzed. Advantages and disadvantages for each of charging modes are referred.

Keywords: batteries, concentration polarization, electrochemical polarization, ohmic polarization modes charge.

ОСНОВНИ РЕЖИМИ НА ЗАРЯД НА ТЯГОВИ АКУМУЛАТОРИ

*Атанас Димитров, Бургаски свободен университет, atanas@bfu.bg
Ангел Тошков, Бургаски свободен университет, angel@bfu.bg
Янислав Желев, Бургаски свободен университет, jelev@bfu.bg
Мария Монова-Желева, Бургаски свободен университет, mariaj@bfu.bg*

Резюме: В студията е направено проучане и са анализирани различните фактори, указващи влияние върху производителността на съвременните тягови батерии. Разгледани са детайлно поляризационните процеси настъпващи по време на заряд и разряд в оловните тягови батерии, влиянието на температурата и концентрацията на електролита. Анализирани са съвременните техники за безопасен и бърз заряд на АБ. За всеки режим са посочени съответните предимства и недостатъци.

Ключови думи: акумулаторни батерии, концентрационна поляризация, електрохимична поляризация, омична поляризация, режими на заряд.

ФАКТОРИ ВЛИЯЕЩИ НА ТЯГОВИТЕ ОЛОВНИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

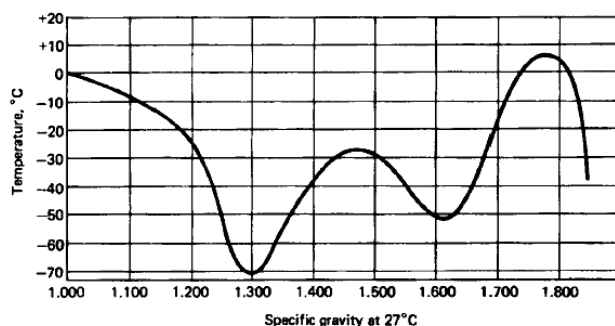
Предназначението на тяговите оловни акумулаторни батерии (ТОАБ) е да осигурят необходимата енергия за задвижване на превозното средство, при разряд на батерията до 20% от номиналния и капацитет. Известно е, че температурата играе важна роля, както при съхранението [7], така и при експлоатирането на акумулаторните батерии. Прекомерното и повишаване може да доведе до повреждането им от една страна и ускорява процесите свързани със стареенето на активният материал на плочите от друга страна, като по този начин скъсява живота им. Производителността на акумулаторните батерии (АБ) също зависи от температурата. Колкото по-висока е тя, толкова по-бързо протичат химичните реакции в нея. В клапанно регулируемите оловни акумулаторни батерии, повишаването на температурата води до промяна на концентрацията на електролита в съответствие с отделянето на кислород от положителните плочи и формирането на вода при

отрицателните. По време на кислородният цикъл [2-6, 12, 13], когато зарядното напрежение е високо, повишаването на температурата и промяната в концентрацията водят до промяна във фазовата структурата на активният материал на плочите. Така реакциите в отрицателните плочи стават екзотермични, а повишената температура и промяната на концентрацията водят до частично пасивиране на положителните плочи [12, 13], в следствие на което, ефективността на цикъла намалява [2] и се удължава времето за зареждане. Главният проблем по време на кислородният цикъл е, че електрическата енергия, консумирана за презареждането на батерията напълно се преобразува в топлина. Повишаваното на температурата на клетките води до лавинно нарастване на зарядният ток, водещ до последващо нарастване на температурата. Този феномен е известен като температурна нестабилност (**thermal runaway**), а причините за неговото възникване са дадени в [13]. Влиянието на температурата и концентрацията на електролита по времето на кислородният цикъл са изследвани от *Кирчев и Павлов*[2]. Те установяват, че скоростта на протичане на реакциите при постоянен потенциал на отрицателните плочи не зависи от температурата. Повишаването на температурата обаче води до увеличаване на отделеният водород от негативните плочи, намаляване на техният потенциал и в резултат ефективността на кислородният цикъл драстично намалява.

При съхранение на АБ, степента на саморазряд също се влияе от температурата. Заради термодинамичната нестабилност на оловото (Pb) и оловният диоксид (PbO₂), по време на съхранение те реагират с електролита, в следствие на което част от активният материал се превръща в оловен сулфат (PbSO₄) и води до намаляване на капацитета на батерията. Увеличаването на температурата катализира тези реакции, в следствие на което оловният сулфат увеличава обема си и може да доведе до окъсяване на две съседни плочи.

Концентрацията на електролита също е температурно зависима. В зависимост от плътността му се променя и точката на замръзване (

Фиг. 1.).



Фиг. 1. Зависимост на концентрацията на електролита от температурата

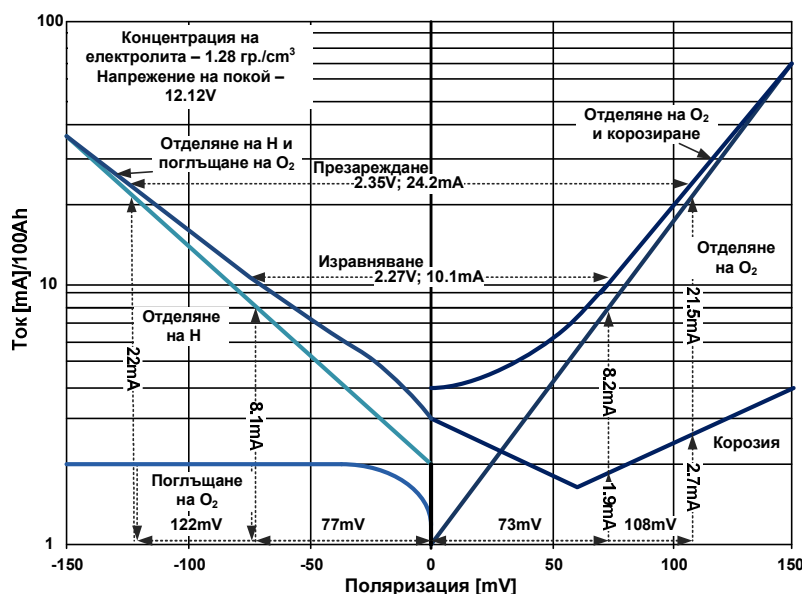
Изследванията сочат, че електролит с плътност 1.28g/cm³ има най-ниска температура на замръзване [11]. Необходимата плътност на електролита в зависимост от температурата се дава с:

$$H_2SO_4(t^{\circ}C)=H_2SO_4(15^{\circ}C)+\alpha \cdot 10^{-5}(15^{\circ}C-t^{\circ}C), \quad (1)$$

където, $H_2SO_4(t^{\circ}C)$ е необходимата специфична плътност на електролита за дадената температура; $H_2SO_4(15^{\circ}C)$ - специфичната плътност на електролита при $15^{\circ}C$; α – е температурен коефициент; $t^{\circ}C$ е температурата на околната среда

ВЛИЯНИЕ НА ПОЛЯРИЗАЦИЯТА ВЪРХУ ЖИВОТА НА ТЯГОВИТЕ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Поляризацията е негативен процес, който се асоциира със загубата на електрическа енергия [1, 11]. Поляризация се наблюдава, както при заряд, така и при разряд на АБ. Причините за възникване на поляризационни процеси са: нееднородната концентрация на електролита в обема на батерията и в близост до електродите (концентрационна поляризация), скоростта на протичане на химичните реакции на различните електроди (електрохимична поляризация) и вътрешното съпротивление на АБ (омична или резистивна поляризация). За графично онагледяване на поляризационните процеси се използват криви на Tafel (), представляващи зависимостта на потенциала на електродите или напрежението на клетките на батерията от логаритъма на плътността на тока [1, 3, 6, 11].



Фиг. 2. Представяне на поляризационните процеси чрез Tafel плот [1]

Поляризацията при разряд се отъждествява с пада в потенциала на работното напрежение в сравнение с напрежението на покой на батерията, докато при заряд отразява допълнителното консумиране на енергия, необходима за преодоляване на енергийната бариера в следствие на електрохимичната поляризация, реактивирането на химичните процеси и протичането им с нормална скорост.

КОНЦЕНТРАЦИОННА ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Концентрационната поляризация, както подсказва името ѝ, произхожда от разликата в концентрацията на електролита в близост до повърхността на електродите и в обема на батерията. Тази разлика обуславя неравномерно разпределение на токоносителите между електродите, в следствие на което, в натоварената батерия, част от енергията респективно част от преминаващия през нея ток се изразходва за преразпределение на тези токоносители. Този ток се нарича дифузен ток, а връзката между концентрационната поляризация и тока протичащ през батерията се дава чрез уравнението на Нернст (*Nernst*) отнесено към концентрацията на електролита [11]:

$$\eta_c = \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{i_L}{i_L - i} \right) \quad (2)$$

където:

η_c е концентрационна поляризация или бариерен потенциал причинен от дифузионните процеси в електролита;

R – Универсална газова константа, $R= 8.314472 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$;

T – Абсолютна температура, K;

F – Фарадеева константа, $F = 9.6485309 \times 10^4 \text{ C/mol}$;

n – Брой обменени електрони в електрохимически процес;

i – плътност на дифузия ток, mA/cm^2 ;

i_L – максимална плътност на дифузия ток получен при нулева концентрация на електролита в близост до плочите, mA/cm^2 :

$$i_L = nF \frac{DA(C_B - C_E)}{\delta} \quad (3)$$

D – Дифузен коефициент;

A – площ на плочите;

C_B, C_E – концентрацията на електролита в обема на батерията и до повърхността на плочите;

δ – дебелина на слоя активна маса върху плочите.

ЕЛЕКТРОХИМИЧНА ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Електрохимичната поляризация, както бе споменато зависи от скоростта на протичане на химичните реакции. Различните химични реакции протичат с различна скорост и в резултат, химичните процеси протичат със скоростта на най-бавната реакция. Електрохимическата поляризация е различна за различните електроди и за постоянна температура се дава с:

$$\eta_E = \eta_{E+} + \eta_{E-} = a + b \cdot \ln J, \quad (4)$$

където, η_E е сумарната електрохимична поляризация, mV;

η_{E+}, η_{E-} електрохимичната поляризация на положителните и отрицателните плочи

a, b – са константи;

J – плътността на тока, mA/cm^2 .

Пълното уравнение за електрохимичната поляризация е дадено от Butler-Volmer и има вида:

$$J = J_0 \exp \left[\frac{\alpha \eta_E Z F}{RT} \right] - J_0 \exp \left[\frac{(1-\alpha) \eta_E Z F}{RT} \right], \quad (5)$$

където

J_0 – е промяната плътността на тока, mA/cm²;
 α – преносен коефициент;
 Z – броя на електроните пренесени чрез реакцията;
 F – Фарадеева константа;
 R – Универсална газова константа;
 T – Абсолютна температура, К.

За да се намали влиянието на електрохимичната поляризация при заряд, зарядното устройство трябва да отдаде повече енергия за да се поддържа необходимата скорост за протичане на реакциите. Това води до намаляване на ефективността му и повишаване на енергийните разходи.

ОМИЧНА ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Омичната (резистивна поляризация) зависи от вътрешното съпротивление на батерията и съпротивлението на контактите. Тя се получава в следствие на протичането на ток през батерията и е пропорционална на плътността му (6).

$$\eta_{\Omega} = J \cdot R, \quad (6)$$

където:

η_{Ω} – омична поляризация, mV;
 J – плътност на тока, mA/cm²;
 R – общото съпротивление на батерията, $\Omega \cdot \text{cm}^2$.

Омичната поляризация е основната причина за повишаването на температурата на АБ по време на нейната експлоатация. Колкото по-голямо е вътрешното съпротивление на батерията и колкото по-голям ток преминава през нея, толкова по-голяма е и отделената топлина. Както беше отбелязано температурата има негативно влияние върху живота на АБ и може да доведе до температурната и нестабилност. Това налага винаги да се вземат предпазителни мерки, които да осигуряват необходимият температурен режим, независимо от това дали батерията се зарежда или разрежда.

МЕТОДИ ЗА ЗАРЯД НА ОЛОВНИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ И ИЗИСКВАНИЯ

Възстановяването на капацитета на оловните акумулаторни батерии е сложен електрохимически процес. Изборът на най-подходящ алгоритъм за реактивирането на активния материал на плочите на АБ зависи от редица фактори. Основното правило е максимално удължаване живота на батерията, независимо от условията при които се използва. Други, не по-малко съществени фактори са времето, за което ще бъде възстановена работоспособността иМ, без загуба на първоначалния и капацитет. По дефиниция на **Advanced Lead Acid Battery Consortium** – ALABC [9, 23], при използване на алгоритъм за бърз заряд, времето за пълното зареждане на батерията трябва да не надхвърля 4 часа, като 80% от капацитета и трябва да бъде възстановен за не повече от 15 минути и/или 50 % за не повече от 5 минути. Голямото разнообразие на зарядни режими [1, 8-11, 14, 15, 17-22] е мотивирано от непрекъснатите опити за разработването на съхраняващи и удължаващи живота на АБ алгоритми. Всички те са базирани на двата основни метода за заряд с постоянно напрежение и заряд с постоянен ток.

ЗАРЕЖДАНЕ НА ТЯГОВИ АБ В СЪОТВЕТСТВИЕ СЪС СТАНДАРТИТЕ DIN/VDE/IEC

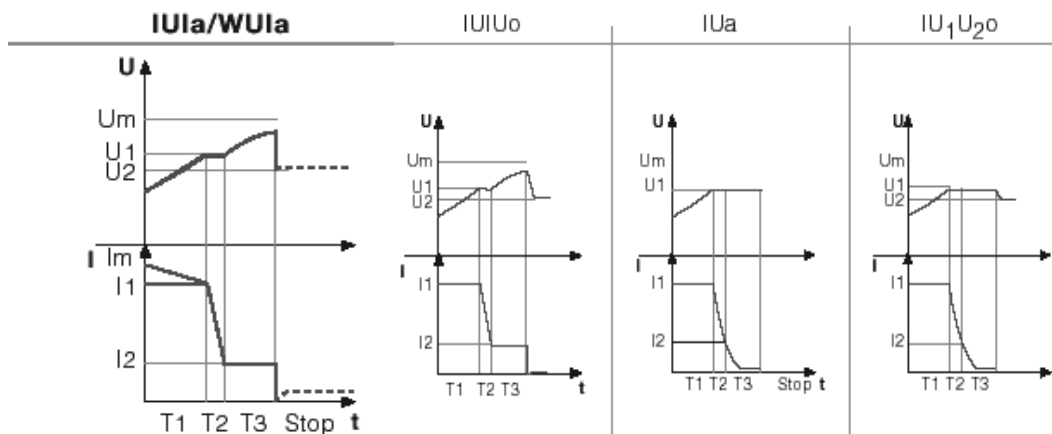
Основното предназначение на стандартите регулиращи методите за зареждане на тягови акумулаторни батерии е да осигурят максимална защита по време на сервизният и експлоатационен период на батерията. По този начин те оказват голямо влияние върху ефективността на разработените алгоритми и апаратура [1]. Според стандартите DIN/VDE – 0510, DIN 41772 ÷ 41773 и IEC 60254-1:2005, отнасящи се към оловните акумулаторни батерии, зареждането на тяговите акумулатори трябва да става в съответствие със следните пет основни типа зарядни характеристики:

- W – характеристика (произлиза от немското *Widerstand* – съпротивление) или зареждане с намаляващ ток;
- U – характеристика или зареждане с постоянно напрежение;
- I – характеристика или зареждане с постоянен ток;
- 0 – зареждане с автоматично прекъсване на заряда;
- a – зареждане с автоматично изключване на зарядното устройство.

За да отговарят на изискванията на стандартите, зарядните устройства имплементирани W, U и I характеристиките трябва да имат максимално допустимо отклонение на зарядният ток и напрежение както следва:

- за I характеристиките и нейните деривати по стандарта DIN 41773 се допуска отклонение $\pm 2\%$ за тока и $\pm 1\%$ за напрежението;
- за W характеристиките и нейните деривати, отклонението на напрежението според стандарта DIN 41774 трябва да е в границите $\pm 0.05V$.

На са показани най-често използваните комбинации на по-горе посочените характеристики. Зарядните устройства конструирани за зареждане само по един от посочените типове характеристики са неефективни, тъй като пълното зареждане на батерията отнема много време.

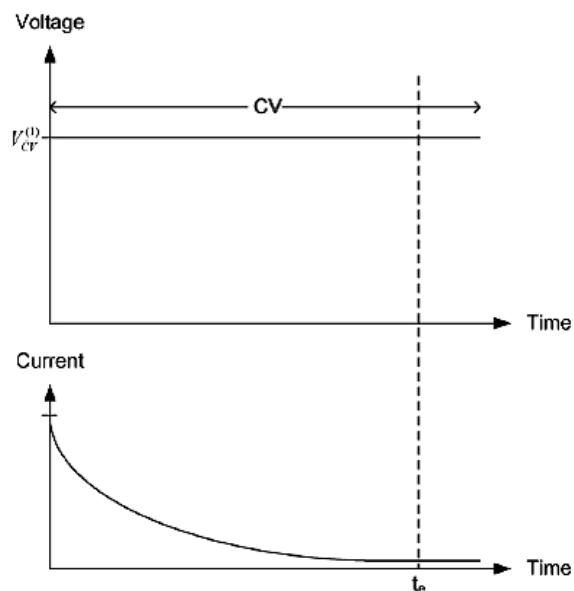


Фиг. 3. Зарядни характеристики според DIN/VDE и IEC стандартите

Вместо това съвременните зарядни устройства използват комбинация от тези характеристики в съответствие с наложените ограничения за ток и напрежение.

ЗАРЕЖДАНЕ С ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

Методът на заряд с постоянно напрежение () е получил широко приложение основно при зареждането на стартерните акумулаторни батерии, като най-често, зарядните устройства са част от електрозахранващата система на автомобилите и са непрекъснато свързани с батерията. Постоянно свързани към зарядното устройство са и батериите осигуряващи енергията на непрекъсваемите захранващи източници и телефонни централи – стационарните АБ [11].



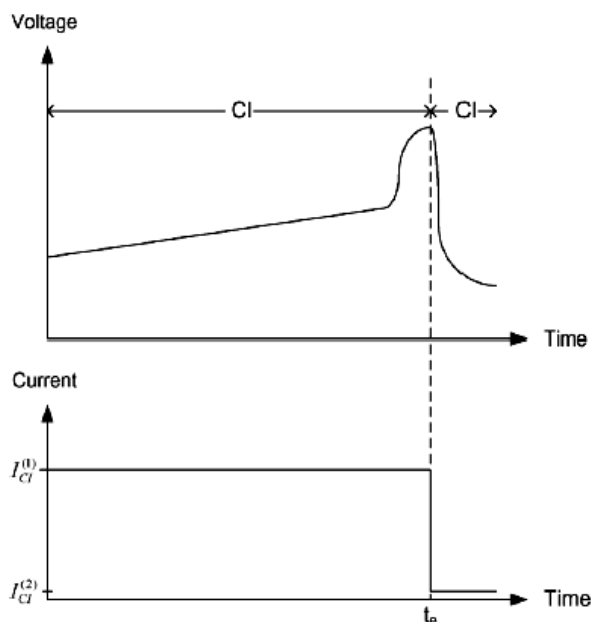
Фиг. 4. Метод на заряд с постоянно напрежение

Характерно за този метод е лесната му реализация и опростен контрол [10, 21]. Недостатъците му се свързват с големината на първоначалният заряден ток, който може да надхвърли до 10 пъти стойността на номиналният капацитет на батерията и удълженото време на заряд, заради намаляване стойността на тока в крайната фаза. Големата стойност на тока повишава температурата в батерията благодарение на омичната поляризация, и по този начин намалява ефективността на кислородният цикъл [2, 12, 13], в следствие на което се съкращава живота на батерията. Големият ток налага да се вземат допълнителни мерки при оразмеряването на зарядното устройство, затова този метод често се използва с ограничение по ток.

ЗАРЕЖДАНЕ С ПОСТОЯНЕН ТОК

Принципа на заряд с постоянен ток е показан на . Предимството му пред метода с постоянно напрежение е, че лесно може да се определи необходимото време за заряд на базата на стойността на зарядният ток. Липсата обаче на регулиране на зарядното напрежението често води до повишаването му над напрежението на газоотделяне. Краят на заряда, най-често се задава чрез програмируем таймер, настроен така, че батерията да се презареди с около $5\div 10\%$. По добър начин за определяне крайното време на заряд се реализира с метода на нулевото нарастване на напрежението на батерията, но това усложнява в конструктивен смисъл зарядното устройство. Недостатъците на този метод са, че при зареждане, не всички клетки се зареждат едновременно до 100%, което налага и

презареждането и. Също така използването му ускорява корозията на положителните и отрицателните плочи заради високото напрежение в клетките и по този начин се съкращава живота на батерията.

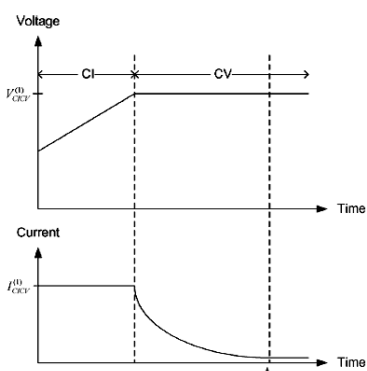


Фиг. 5. Метод на заряд с постоянен ток.

Съществуват различни варианти на този метод. *Gitao u Ebersohn* [15] в своето проучване върху енергийната ефективност на различните зарядни алгоритми в зависимост от топологията на зарядното устройство, за нуждите на анализа използват схема на заряд при която зарядният ток има стъпаловиден профил. Използването на многостепенен заряден алгоритъм значително намалява нарастването на температурата в батерията и едновременно с това се намалява негативното влияние на поляризацията.

ЗАРЕЖДАНЕ С ПОСТОЯНЕН ТОК – ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

Зареждането с постоянен ток-постоянно напрежение () е комбинация от предходните два метода. Първоначално батерията се зарежда с постоянен ток с големина до $0.4C$ от номиналният капацитет на батерията. Заряда продължава докато напрежението на батерията не достигне до предварително зададена стойност. След това, автоматично се превключва в режим на заряд с постоянно напрежение и продължава докато тока, не спадне до стойности $0.0015C$ от капацитета на батерията. Изборът на прагова стойност на напрежението, при което да стане превключването на режимите е от критично значение при използването на този метод. Стойността трябва да се подбере така, че в първият етап да се достави по-голямата част от изразходваното електричество на батерията. Най-често това е стойността на напрежението на газоотделяне.

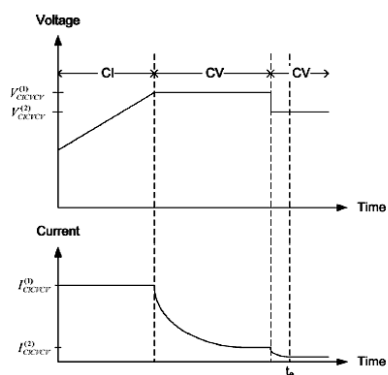


Фиг. 6. Метод на заряд с постоянен ток-постоянно напрежение

Недостатъците на този метод се изразяват основно в това, че за пълното възстановяване на капацитета на батерията, тя трябва малко да се презареди, като това става предимно във втората фаза, в която процесите са съпътствани с отделяне на водород и изразходване на вода.

ЗАРЕЖДАНЕ С ПОСТОЯНЕН ТОК-ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ–ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

Този метод () е предложен с цел подобряване метода за заряд с постоянен ток-постоянно напрежение. Първите две фази са идентични с предходният метод с изключението, че стойността на напрежението на превключване се избира по-висока с цел удължаване времето за зареждане с постоянен ток. Превключването към по-ниско напрежение става при достигане на тока през втората фаза до 25% от началната зарядна стойност, след което заряда продължава при понижено напрежение, което намалява негативният ефект на газоотделянето.

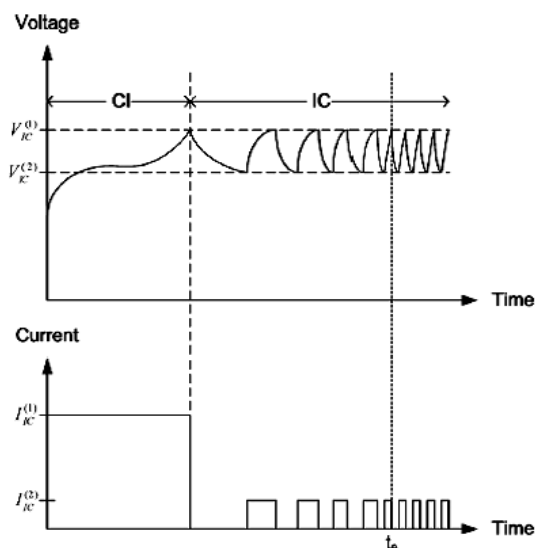


Фиг. 7. Метод на заряд с постоянен ток-постоянно напрежение-постоянно напрежение

Въпреки това високото напрежение по време на втората фаза увеличава корозията на активните плочи, водещи до съкращаване живота на батерията. От гледна точка на зарядното устройство, методът изисква по-сложно управление свързано с превключването между отделните режими.

ЗАРЕЖДАНЕ С ПЕРИОДИЧНО ПРЕКЪСВАЩ ТОК (INTERMITTENT)

Принципа на този метод е показан на (). Разработен е с цел да се премахне продължителното презареждане, което се получава при предходните методи. Действието му се състои от две фази – заряд с постоянен ток и заряд с периодично прекъсващ ток. Заряда на батерията започва с постоянен ток с големина $0.1 \div 0.4C$ и продължава докато напрежението на батерията не достигне до една предварително зададена стойност. Това е първата фаза на заряд. Достигането на тази стойност дава началото на втората фаза, при която захранването на батерията с ток се преустановява, докато напрежението на батерията не достигне до втора предварително указана стойност. Достигайки тази стойност зареждането става с токови импулси с големина $0.05C$. Продължителността на токовите импулси се определя от това колко бързо се достига горният праг на ограничаващото напрежение. Заряда се преустановява тогава, когато коефициентът на запълване на импулсите стане постоянен.



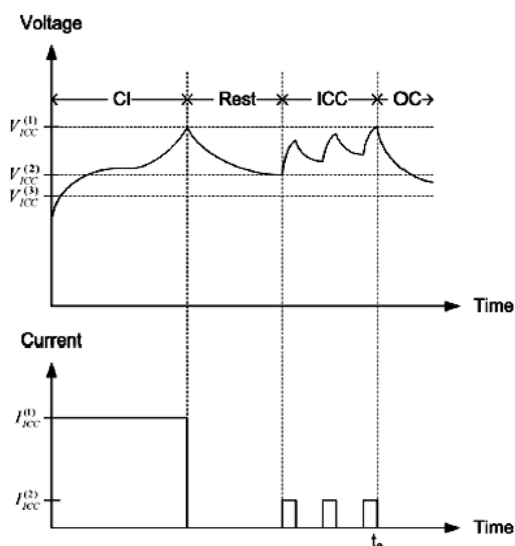
Фиг. 8. Метод на заряд с периодично прекъсващ ток.

Ефективността на метода зависи основно от избора на горен и долен праг на напреженията. Стойността на горният праг, трябва да се избере така, че да се получи съвсем малко презареждане на батерията, а долният праг се избира от условието да се осигури необходимото време за протичане на зарядният процес през втората фаза. Естествено, ако стойността на долният праг се избере твърде ниска, има вероятност батерията да остане недозаредена за дълъг период, което да ускори сулфатизацията на плочите им.

ЗАРЕЖДАНЕ С ПРЕКЪСВАНЕ НА ЗАРЕЖДАНЕТО

Методът с прекъсването на заряда () е подобрен вариант на предходният, като подобрението се изразява в избягването на евентуално недозареждане на батерията. Заряда на батерията става на четири етапа. През първият етап зареждането става с постоянен ток, докато напрежението на батерията достигне напрежението на превключване. Следва етап

на релаксация, който има за цел да намали вътрешното налягане и нормализира протичането на електрохимичните реакции. Краят на периода се определя с понижаване напрежението на батерията под предварително зададена стойност. През третият етап заряда става с токови импулси с честота $f=33\text{mHz}$ и коефициент на запълване $\delta=0.33$ за температура 35°C . Етапа продължава до повторното достигане на горният праг на напрежението, след което батерията се оставя в покой – четвърти етап. Ако по време на четвъртия етап напрежението на батерията спадне под трети праг зареждането започва отново преминавайки през всички етапи.



Фиг. 9. Метод на заряд с прекъсване на зареждането

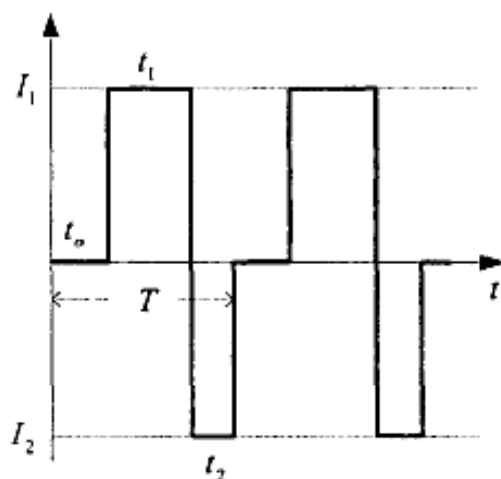
Основният недостатък на този режим е, че по време на заряда трябва да се следят и регулират 5 параметъра (2 на зарядният ток и 3 прагови напрежения), което изисква използването на прецизна микропроцесорна система.

ИМПУЛСЕН МЕТОД НА ЗАРЯД

Импулсният заряд се характеризира с периодично подаване на токови импулси, като големината на тока в този случай може да достигне $1\div 2C$ от номиналният капацитет на батерията. Паузата между импулсите е предназначена за понижаването на налягането в клетките и температурата в следствие на големият ток и равномерното разпределение на електролита по повърхността на плочите. Предимството на този метод се изразява в значително намаляване времето на заряд, заради големият заряден ток. Като недостатъци на този метод, могат да се посочат опасността от презареждане на батерията, евентуалното окъсяване на клетките при неправилен избор на заряден ток, високата цена на зарядното устройство.

ЗАРЕЖДАНЕ ПО МЕТОДА ЗАРЯД-РАЗРЯД

Този метод е известен също като Reflex™ метод на заряд. Той е подобрение на импулсният метод на заряд, като един заряден период се състои от положителен токов импулс, разряден импулс и пауза ().



Фиг. 10. Метод на заряд-разряд

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на направения анализ на факторите влияещи върху производителността на АБ, може да се обобщи, че поляризацията и температурата имат негативно влияние, както при заряд, така и при разряд на батериите и се асоциират със загубата на електрическа енергия. За подобряване показателите на батериите са разработени редица алгоритми за заряд, които освен висока ефективност на зарядният процес, също удължават работният живот на батериите

References

- [1] A. Kiehne, H. Battery technology handbook - second edition, Marcel Dekker Inc, 2003.
- [2] A. Kirchev and D. Pavlov, "Influence of temperature and electrolyte saturation on rate and efficiency of oxygen cycle in VRLAB," Journal of Power Sources, vol. 162, 2006, pp. 864-869.
- [3] A. Kirchev, A. Delaille, F. Karoui, M. Perrin, E. Lemaire, and F. Mattera, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for PV applications Part III. Electrolyte concentration effects on the electrochemical performance of the positive plate," Journal of Power Sources, vol. 179, 2008, pp. 808-818.
- [4] A. Kirchev, A. Delaille, M. Perrin, E. Lemaire, and F. Mattera, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for PV applications Part II. Impedance of the positive plate revisited," Journal of Power Sources, vol. 170, 2007, pp. 495-512.
- [5] A. Kirchev, F. Mattera, E. Lemaire, and K. Dong, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for photovoltaic applications Part IV. Pulse charge of the negative plate," Journal of Power Sources, vol. 191, 2009, pp. 82-90.
- [6] A. Kirchev, M. Perrin, E. Lemaire, F. Karoui, and F. Mattera, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for PV applications Part I. Factors influencing the mechanism of the pulse charge of the positive plate," Journal of Power Sources, vol. 177, 2008, pp. 217-225.

- [7] A.P. Soares, M.F. Rosolem, L.A. Soares, G.R. dos Santos, P.T. Frare, R.F. Beck, and V.T. Arioli, "Storage impact in VRLA batteries life," INTELEC 2008 - 2008 IEEE 30th International Telecommunications Energy Conference, IEEE, 2008, pp. 1-8.
- [8] B. Dickinson and J. Gill, "Issues and benefits with fast charging industrial batteries," Fifteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances (Cat. No.00TH8490), IEEE, 2000, pp. 223-229.
- [9] C. Alaoui and Z. Salameh, "Experiments in fast charging lead acid electric vehicle batteries," 2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference. VTC 2003-Fall (IEEE Cat. No.03CH37484), IEEE, 2003, pp. 3326-3331.
- [10] C. Hua and M. Lin, "A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles," ISIE'2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (Cat. No.00TH8543), IEEE, 2000, pp. 135-140.
- [11] D. Linden and T.B. Reddy, Handbook of batteries - third edition, McGraw – Hill, 2001.
- [12] D. Pavlov, "Thermal phenomena during operation of the oxygen cycle in VRLAB and processes that cause them," Journal of Power Sources, vol. 158, 2006, pp. 964-976.
- [13] D. Pavlov, B. Monahov, A. Kirchev, and D. Valkovska, "Thermal runaway in VRLAB—Phenomena, reaction mechanisms and monitoring," Journal of Power Sources, vol. 158, 2006, pp. 689-704.
- [14] J. Marcos, J. Dios, A. Cao, J. Doval, C. Penalver, A. Nogueiras, A. Lago, and F. Poza, "Fast Lead-Acid Battery Charge Strategy," Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC '06., IEEE, 2006, pp. 610-613.
- [15] M. Gitau and G. Ebersohn, "Effects of charging algorithm and converter topology on energy efficiency," AFRICON 2009, IEEE, 2009, pp. 1-6.
- [16] M. Jongerden and B. Haverkort, "Which battery model to use?," IET Software, vol. 3, 2009, pp. 445-457.
- [17] N. Pinsky, J. Argueta, T. Knipe, V. Grosvenor, L. Gaillac, M. Merchant, and A. Cabrera, "Fast charge of lead acid batteries at the SCE EV Tech Center," Fifteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances (Cat. No.00TH8490), IEEE, 2000, pp. 231-236.
- [18] S. Lu, K. Corzine, and M. Ferdowsi, "High Efficiency Energy Storage System Design for Hybrid Electric Vehicle with Motor Drive Integration," Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting, IEEE, 2006, pp. 2560-2567.
- [19] T.K. Cheung, K.W. Cheng, H.L. Chan, Y.L. Ho, H.S. Chung, and K.P. Tai, "Maintenance techniques for rechargeable battery using pulse charging," 2006 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, IEEE, 2006, pp. 205-208.
- [20] U. Schwalbe, M. Scherf, T. Reimann, and G. Deboy, "Advantages of 3-stage-DC/DC-converters for Server Switch Mode Power Supply (SMPS) applications," 2007 European Conference on Power Electronics and Applications, IEEE, 2007, pp. 1-10.
- [21] Y.S. Chu, Y. Chen, T.J. Liang, S. Changchien, and J. Chen, "Positive/negative pulse battery charger with energy feedback and power factor correction," Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005, APEC 2005, IEEE, 2005, pp. 986-990 vol.2.
- [22] Z. Du, B. Ozpineci, L.M. Tolbert, and J.N. Chiasson, "DC–AC Cascaded H-Bridge Multilevel Boost Inverter With No Inductors for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 45, 2009, pp. 963-970.
- [23] Z.M. Salameh and B.G. Kim, "Advanced lithium polymer batteries," 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, IEEE, 2009, pp. 1-5.

ИНФОРМАЦИЯ ЗА РАЗРАБОТКАТА

Разработката е част от работата по проект финансиран по финансова схема за подкрепа на иновативни предприятия от Националния иновационен фонд за 2014 г.

Заглавие на проекта: "Оценка на техническата и икономическа осъществимост на разработката на зарядни системи за бърз индивидуален поелементен основен и изравнителен заряд на акумулаторни батерии за електрокари, електромобили, автомобили, соларни, енергийни, информационни и електронни системи".

Изпълнител - "Всестранна кооперация Конверт" - Перник

СЪДЪРЖАНИЕ

Фактори влияещи на тяговите оловни акумулаторни батерии.....	45
Влияние на поляризацията върху живота на тяговите акумулаторни батерии.....	47
Концентрационна поляризация.....	47
Електрохимична поляризация.....	48
Омична поляризация.....	49
Методи за заряд на оловни акумулаторни батерии и изисквания.....	49
Зареждане на тягови АБ в съответствие със стандартите DIN/VDE/IEC.....	49
Зареждане с постоянно напрежение.....	50
Зареждане с постоянен ток.....	51
Зареждане с постоянен ток – постоянно напрежение.....	52
Зареждане с постоянен ток-постоянно напрежение–постоянно напрежение.....	53
Зареждане с периодично прекъсващ ток (Intermittent).....	54
Зареждане с прекъсване на зареждането.....	54
Импулсен метод на заряд.....	55
Зареждане по метода заряд-разряд.....	55
Заключение.....	56
Информация за разработката.....	58
Съдържание.....	58
Автори:.....	58

АВТОРИ:

Dimitrov Atanas, Burgas Free University, atanas@bfu.bg

Toshkov Angel, Burgas Free University, angel@bfu.bg

Jelev Janislav, Burgas Free University, jelev@bfu.bg

Monova-Jeleva Maria, Burgas Free University, mariaj@bfu.bg

2015 г.