

Акумулаторни батерии за електромобили и хибридни автомобили

Иван Евтимов, Росен Иванов, Борислав Ангелов

Batteries for electric and hybrid vehicles: *The purpose of this paper is to make a comparative analysis of the different types of batteries that can be used as energy source in electric and hybrid vehicles.*

Key words: *Batteries, Electric and Hybrid Vehicles.*

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години все по-усилено се работи от почти всички производители на автомобили за намаляване на шума и отделянето от двигателя с вътрешно горене на вредни емисии, опасни за здравето и околната среда. Освен използването на нови съвременни технологии за производство на по-ефективни в това отношение бензинови и дизелови двигатели, непрекъснато се работи и върху усъвършенстване задвижването на електромобила. Ефективността от използването на електромобила зависи главно от източника на енергия- акумулаторната батерия. Изборът на акумулаторната батерия оказва съществено влияние върху техноконичните показатели на електромобила.

Основните технически параметри, които характеризират акумулаторните батерии са:

- капацитет;
- специфична мощност;
- специфична енергия(енергозапасеност);
- енергийна плътност;
- срок на служба.

Капацитетът представлява количеството електричество в амперчасове, което напълно заредена акумулаторна батерия отдава при разреждането си до определено крайно напрежение. Това напрежение за различните акумулаторни батерии е различно. Производителите на акумулаторни батерии дават т. нар. номинален капацитет, съответстващ на определен разряден ток, температура и крайно напрежение. Обикновено капацитетът на акумулаторните батерии за задвижване на електродвигатели се дава при 5-часов режим на разреждане с постоянен ток. Последният се определя от зависимостта

$$I_p = 0,2C_5, Ah, \quad (1)$$

където C_5 е капацитетът на акумулаторната батерия при 5-часов режим на разреждане, Ah.

За една и съща акумулаторна батерия капацитетът ѝ зависи от големината на разрядния ток, температурата и броят цикли (заредане-разреждане), които е направила. Логично е, че колкото по-голям е разрядният ток, толкова по-малко ще е капацитетът на акумулатора. Това съществено ще оказва влияние върху пробега на електромобила, който може да се реализира с едно зареждане на акумулаторната батерия.

Специфичната мощност на акумулаторната батерия характеризира каква мощност $P=UI$ се пада на единица маса - W/kg. От специфичната мощност на акумулаторната батерия зависят и динамичните свойства на електромобила. Ако акумулаторната батерия има по-голяма специфична мощност спрямо друга това означава, че мощността ѝ е акумулирана в по-малка маса. Това е от особено значение при избора на акумулаторната батерия, тъй като нейната маса до голяма степен определя масата на електромобила.

Специфичната енергия(енергозапасеността) характеризира каква енергия се пада на единица маса. Измерва се в Wh/kg. Енергията E на акумулаторната батерия представлява произведението на капацитета ѝ C_5 с напрежението U на батерията,

$$E = C_5 U, Wh. \quad (2)$$

От специфичната енергия зависи пробегът на електромобила, който може да измине с едно зареждане на акумулаторната батерия.

Енергийната плътност характеризира каква енергия се пада на единица обем. Измерва се в Wh/m³ и характеризира в какъв обем е акумулирана енергията на акумулаторната батерия. Това за електромобилите е от особено значение, тъй като местата за вграждането ѝ са ограничени.

Срокът на служба на акумулаторната батерия се измерва в брой цикли заряд-разряд, които акумулаторната батерия може да издържи без влошаване на показателите ѝ под определени граници.

Специфичната енергия и броят на циклите заряд-разряд определят общото количество енергия, което отдава единица маса на акумулаторната батерия. Тази обща енергия, заедно с цената на акумулаторната батерия за единица маса определят един показател, чиято големина е критерий за оценка на различните видове акумулаторни батерии. Този показател определя т. нар. относителна цена [1, 6] на акумулаторната батерия – цената на акумулаторната батерия за получаване на единица енергия, например US\$/kWh.

Срокът на служба на акумулаторната батерия зависи от начина на експлоатацията ѝ. За да се увеличи срокът на служба на батерията е необходимо да се намали степента на разреждане. Степента на разреждане на батерията се отразява на големината на капацитета, отдаван при разреждането, спрямо номиналния.

Акумулаторните батерии, които могат да се използват като източник на енергия в електромобилите и хибридните автомобили биват:

- оловни;
- никел-кадмиеви;
- никел-металхидридни;
- литий-йонни;
- литий-полимерни;
- метал-въздушни;
- натрий-серни;
- натрий-металхлоридни.

ОЛОВНА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

Оловните акумулатори са едни от първите, които се използват като източник на енергия в електромобилите. Според конструкцията им положителните плочи биват намазни и панцерни. Срокът на служба на първите е до 500 цикъла, а на вторите - от 1200 до 1800 цикъла, в зависимост от модификацията на батерията. По-големият срок на служба се дължи на това, че положителните плочи представляват тръбички от синтетичен материал, в които е поставена активната маса. Така последната се предпазва от изпадане, с което се увеличава съответно и срока на служба на акумулаторната батерия. Активната маса на положителните плочи е оловен диоксид (PbO₂), а на отрицателните – гъбесто олово (Pb). Електролитът се приготвя от акумулаторна сярна киселина с плътност 1.83 Mg/m³ и дестилирана вода. Плътността на електролита при напълно заредена акумулаторна батерия за нашите климатични условия трябва да бъде 1,28 Mg/m³.

Реакциите, които протичат в акумулаторната батерия са обратими,



При разреждане плътността на електролита намалява и при напълно заредена акумулаторна батерия е 1,12 Mg/m³.

Батерия се състои от няколко акумулатора, като напрежението на всеки един от тях е около 2 V. Броят на акумулаторите определя напрежението на акумулаторната батерия.

Предимства на оловните акумулаторни батерии са:

- сравнително ниска производствена цена;
- надеждна и проверена в практиката технология на обслужване и производство;
- малък саморазряд;
- елементарно обслужване;
- допустими високи токове на разряд.

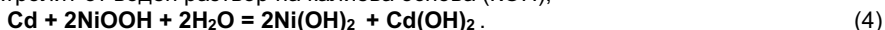
Недостатъци на оловните акумулаторни батерии:

- не могат да се съхраняват в разрежено състояние;
- отличават се с ниска специфична енергия;
- ограничен брой цикли до пълен разряд;
- киселинният електролит и оловото оказват вредно въздействие върху околната среда;
- при неправилен заряд е възможно прегряване;
- при ниски температури съществено се понижава капацитетът им.

Обикновените оловни акумулаторни батерии представляват една отворена система, което налага периодично да се обслужват (проверява се нивото на електролита и при необходимост се долива дестилирана вода). Необслужваемите батерии са една затворена система. Това са т. нар. клапанно-регулирани оловно-киселинни акумулатори – VRLA (valve-regulated lead-acid) и имат редица предимства пред обикновените, но са по-скъпи.

НИКЕЛ - КАДМИЕВА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

Никел - кадмиевите акумулаторни батерии (NiCd) са алкални батерии, в които електрическата енергия се освобождава от химическата реакция на метал и кислород в алкална електролитна среда. Положителните плочи се състоят от никелов хидрооксид (NiOOH), а отрицателните от кадмий (Cd). Реакцията протича в електролит от воден разтвор на калиева основа (KOH),



Напрежението на един акумулатор е 1,2 – 1,3 V.

За разлика от оловните (киселинните) акумулатори електролитът на алкалните не участва в химичните реакции, а служи само като проводник на електрическия ток. Ето защо количеството на електролита в алкалните акумулатори е сравнително 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. Освен това имат по-добри характеристики от оловните акумулаторни батерии.

Специфичната мощност е около 125 W/kg, а специфичната енергия - около 40 W/kg. Ограниченото им използване се дължи предимно на високата цена .

НИКЕЛ - МЕТАЛХИДРИДНА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

Никел-металхидридните (NiMH) акумулаторни батерии са наследник на никел-водородните акумулаторни батерии и вече се използват в хибридните автомобили. Положителните плочи се състоят от никелов хидрооксид (NiOOH), подобен на този в никел-кадмиевите акумулаторни батерии , докато на отрицателните плочи е металхидрид. Тези акумулаторни батерии се базират на факта, че фини частици от определени метални смеси, при взаимодействието с водорода при някои налягания и температури преминават в метал-хидридни съединения. Освен това метал-хидридите са способни да поглъщат и реализират водород много пъти без да влошат свойствата си.

На двете плочи протичат следните реакции:

- на положителните



- на отрицателните



Отрицателните плочи представляват пресована смес от фини метални частици от никел, титан или цирконий. Напрежението на акумулатора е почти колкото на никел-кадмиевия акумулатор, а капацитетът – по-голям. Специфичната мощност и специфичната енергия са приблизително два пъти по-големи, отколкото тези на никел-кадмиевия акумулатор.

Никел-металхидридните батерии имат голям успех през последните години и то с изключително високо търсене на пазара. Произвеждат се успешно от Panasonic EV Energy и се използват от Toyota EV RAV-EV и Toyota HEV Prius.

Характерно за никел-металхидридните акумулаторни батерии, че имат по-голям срок на служба от оловните акумулаторни батерии и могат успешно да се рециклират без опасност за здравето на човека и замърсяване на околната среда. Недостатък на тези акумулаторни батерии е относително високата цена. В бъдеще се очаква да се използват по-малко поради голямото конкуренция от страна на литий-йонните акумулаторни батерии.

ЛИТИЙ - ЙОННА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

Литият е метал с висок електрохимичен потенциал (3,045 V) и ниска атомна маса (6,941), което дава основание за направата на акумулатор с напрежение 3V при комбиниране с подходящ положителен електрод. Интересът към литиевите акумулатори се е появил още през 70 години на миналия век. Трудностите в производството им е, че литият много силно реагира с влагата. Това ограничава използването на течни електролити. Учени от университета в Оксфорд открили [8], че литият може да се абсорбира в кристалната решетка на кобалт или никел и да се образуват кобалтов оксид $LiCoO_2$ или никелов оксид $LiNiO_2$. Това е дало основание да се търсят начини за разработване и производство на нов вид акумулаторни батерии, наречени литий-йонни. На отрицателните плочи литият е под формата на графит или кокс, а на положителните плочи - литий-метални оксиди. Най-често се използват кобалтов или никелов окис.

Мангановите окиси $LiMn_2O_4$ и $LiMnO_2$, базирани на положителните плачи са също предмет на изследване. Причината е, че манганът е по-евтин, широко достъпен и по-малко токсичен.

Напрежението на един литиев акумулатор е 3,6 V, което е около три пъти по-голямо от това на NiCd или NiMH акумулатори.

Литий-йонните акумулаторни батерии имат висока специфична мощност – около 250 W/kg, висока специфична енергия – около 100 Wh/kg, добри високо-температурни експлоатационни свойства и нямат опасност от повреждане при пълното им разреждане.

За сега обаче при електромобилите и хибридните системи литиево-йонните батерии се използват все още рядко. Това е така поради високата им цена и необходимостта от допълнителни устройства, осигуряващи нормалната им работа [2]. Ако температурата на тези акумулаторни батерии превиши гранично допустимата може да се предизвика неконтролируем процес и да се получи взрив. Това е особено актуално за този тип акумулаторни батерии, тъй като в тях се съдържат много агресивни активни вещества. Досега повечето съвременни хибридни автомобили и електромобили използват никел-металхидридни (NiMH) акумулатори.

През последните години производството на литий-йонните батерии се усъвършенства непрекъснато. Вече се въвеждат нови технологии [6, 8], при които се създават нови прототипи с по-добри характеристики по отношение на срок на служба, капацитет и безопасност. Търсят се начини за подобряване устойчивостта на акумулаторните батерии срещу възпламеняване при висока температура или

удар чрез използване на заместители на кобалтовия окис [3], като литий-железен фосфат (LiFePO_4), в комбинация на минимални количества с други метали.

ЛИТИЙ - ПОЛИМЕРНА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

Литий-полимерните акумулаторни батерии (Li-poly) се появиха в следствие на развитието на твърдите електролити. Най-често разпространените полимерни електролити е полиетиленовият окис в съединение с подходяща електролитна сол. Най-подходящ за положителен електрод е ванадиевият окис V_6O_{13} . Този окис поглъща до осем литиеви атоми на окис молекула по следния начин



където $0 < x < 8$.

Употребата на твърди полимери, заместват вече запалимите течни електролити, което има голямо предимство за безопасност в случай на аварии при електромобилите и хибридните автомобили. Тъй като литият е вмъкнат във въглероден електрод, той в йонна форма и е по-малко реактивен, отколкото като чист метал. Тънките литий-полимерни акумулатори (клетки) дават възможност за производство на литий - полимерни акумулаторни батерии с всякакъв размер и форма за да могат да бъдат монтирани в зависимост от наличното пространство в електромобила, съответно и в хибридният автомобил. Основният недостатък на литий-полимерните батерии е необходимостта да работят в температурен интервал от 80 до 120°C [8]. Литий-полимерните батерии са с висока специфична енергия – около 175 Wh/kg. Първоначално са разработени за електромобили, но също имат потенциал да осигурят висока специфична мощност (около 250 W/kg) за хибридните автомобили.

МЕТАЛ - ВЪЗДУШНА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

Системата метал-въздух е създадена въз основа на постиженията постигнати при разработването на т. нар. въздушни катоди. В този тип системи взаимодействието между анода и катода е подобен на този в горивните клетки. Предимството на системата метал-въздух е неограниченото наличие на атмосферен кислород, който е необходим за протичането на реакциите. Като анод могат да бъдат използвани металите цинк, желязо или никел. Правени са изследвания от Mercedes Benz на цинк-въздушна акумулаторна батерия при задвижването на пощенски фургони. Батерията е имала специфична енергия 200 Wh/kg и специфична мощност 100 W/kg при 80% разреждане. С такава батерия при днешните технологии може да се измине пробег от над 300 km с едно зареждане.

Основният недостатък на метал-въздушните акумулаторни батерии е малката им специфична мощност, което се дължи на това, че въздушният електрод не може да работи дълго време с голяма плътност на тока.

НАТРИЙ - СЯРНА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

Натрият подобно на лития има висок електрохимичен потенциал (2,71 V) и ниска атомна маса (22,9898). Това е основна причина да се използва като отрицателен електрод в акумулаторните батерии. Освен това натрият е широко разпространен в природата и има ниска цена. Сярата е най-подходяща за положителен електрод. Също е лесно достъпна и струва евтино. Тази двойка елементи е много подходяща за създаване на акумулаторни батерии с твърд електролит [1, 8]. Последният не се разрушава под въздействието на натрия и сярата, но е чувствителен към механични и топлинни удари.

Положителните страни на натрий-сярната акумулаторна батерия са високата специфична енергия (пет пъти по-голяма от тази на оловните акумулаторни батерии) и ниската цена.

При нормална околна температура реакциите в акумулаторната батерия протичат бавно. Тяхната скорост нараства с увеличаване на температурата. При температура около 300°C [8, 9] проводимостта на батерията е вече голяма и тогава тя може да отдаде голям ток. От тук идва и един съществен проблем – поддържането на висока работна температура. Освен това при експлоатацията на тези акумулаторни батерии е необходимо да се спазват противопожарните мерки. Натрият влиза във взаимодействие с водата в твърдо и течно състояние, което е опасно. Реакцията протича бързо под формата на взрив. Сярата в течно състояние при контакт с въздуха образува отровен газ. Тези недостатъци и редица производствени трудности са довели до спиране на програмите за развитие на акумулаторните батерии, когато на преден план се явяват натрий-металхлоридните акумулаторни батерии.

НАТРИЙ-МЕТАЛХЛОРИДНА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ

По конструкция тези акумулаторни батерии са подобни на натриево-серните [8], като положителният серен електрод е заменен от никелов хлорид (NiCl₂) или комбинация от никелов хлорид и железен хлорид (FeCl₂). Отрицателният електрод и електролитът са същите както при натрий-серните акумулаторни батерии. С цел да се осигури по-добър йонен контакт между положителния електрод и електролита, последният представлява натриев хлоралуминат (NaAlCl₄). Работната температура отново е висока, близка до тази на NaS акумулаторни батерии.

Реакциите са както следва:



С реакцията (9) се реализира по-голям електрохимичен потенциал (2,58V), отколкото с реакцията (10) – 2,35 V.

Въпреки, че желязото е по-евтино, отколкото никела, последният е за предпочитане, тъй като с него се получават по-малко усложнения и има по-широк диапазон на работна температура .

Натрий-металхлоридните акумулаторни батерии са известни като ZEBRA батерии [8], която първоначално се е появила в резултат от изследванията при съвместната работа между учени от Обединеното кралство и Южна Африка в началото на 1980-те години. ZEBRA батериите са доказали, че са безопасни при всякакви условия на употреба. Те могат да бъдат използвани в електромобили и хибридни автомобили.

Някои от параметрите на разгледаните по-горе акумулаторни батерии са дадени в табл.1

Таблица 1

Параметри на различни типове акумулаторни батерии

Тип акумулаторната батерия	Специфична мощност, W/kg	Специфична енергия, Wh/kg	Брой цикли	Относителна цена, US\$ / kWh
Оловна	150-400	35-50	500-1000	100-150
Никел-кадмиева	100-150	30-50	1000-2000	250-350
Никел-металхидридна	200-300	60-80	1000-2000	200-350
Алуминий-въздушна	100	200-300	Няма данни	няма данни
Цинк-въздушна	30-80	100-220	500	90-120
Натрий-сярна	230	150-240	1000	200-350
Натрий-никелхлоридна	130-160	90-120	1000	250-350
Литий-йонна	200-300	80-130	1000	200
Литий-полимерна	350	150-200	1000	150

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Двете най-развити технологии в производството на акумулаторни батерии за електромобили днес са тези на оловната и никел-кадмиевата акумулаторни батерии. Основното предимство на оловната акумулаторна батерия е проверената в практиката технология на производство, която вече е приета от автомобилната промишленост. Поради ниската специфична енергия, която имат, на този етап сполучливо се използват като източник на енергия в градските електромобили (пробег до 80 km с едно зараждане).

Разходите за производство на никел-кадмиевата акумулаторна са сравнително високи, не е екологично чиста и трудно би намерила приложение в електромобилите.

Натрий-сърната акумулаторна батерия има много добри параметри, но има много висока цена и един съществен проблем - необходимост от създаване на нови технологии, които да са непосредствено свързани с условията на работа - твърде високата работна температура.

Бъдещето на другите акумулаторни батерии сега е трудно да се предскаже, защото те са най-вече прототипи, за които е твърде малка информацията за методите на проектиране и производство. Постоянното усъвършенстване на технологиите за производство на литий-йонните и литий-полимерните акумулаторни батерии [7, 9], дава основание да се предполага, че на даден етап на производство могат да бъдат най-перспективните акумулаторни батерии за електромобили и хибридни автомобили.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват своята благодарност на фонд "Научни изследвания" на Русенския университет, проект 2009-РУ-13, с чиято финансова помощ е проведено това изследване.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Косев К., Д. Николова. Електромобили. С., Техника. 1979.
- [2] Пенев П. И др. Използване на литиево-йонни елементи за изграждане на автономни захранващи източници и мерки за безопасност при експлоатацията им. Сб. Научни трудове на РУ "Ангел Кънчев"-Русе т. 47 серия 9, 2008.
- [3] <http://greentech-bg.net/?p=1386>
- [4] <http://www.topcars.bg/news.php?id=1025>
- [5] <http://bulgarianit.com/bg/harduer/gorivnata-kletka.html>
- [6] <http://www.capital.bg/show.php?storyid=562509>
- [7] <http://www.medicalbg.com/news.php?m=details&id=1287>
- [8] Iqbal Husain. Electric and hybrid vehicles. CRC Press LLC. 2003.
- [9] Tom Denton. Automobile electrical and electronic systems. Butterworth-Heinemann. 2004.

За контакти:

Доц. д-р Иван Евтимов, Катедра "Автомобили, трактори и кари", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 527, e-mail: ievtimov@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран