FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XIX.

Kolozsvár, 2014. március 20–21.

LÍTIUM-AKKUMULÁTOROK VIZSGÁLATA INVESTIGATIONS OF LI-ION ACCUMULATORS

KÓHÁZI-KIS Ambrus

Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar, Természet- és Műszaki Alaptudományi Tanszék, H6000, Magyarország, Kecskemét, Háromszék utca, 10.; Telefon: +36-76-516436, Fax: +36-76-516299, kohazi-kis.ambrus@gamf.kefo.hu

Abstract

Li-ion accumulators have found wide applications in the field of portable, mobile electronic devices. In the future, however, they are supposed to play even more role in the field of the hybrid or the totally electric vehicles. I present shortly the main features of the Li-ion accumulators, and I report on our activity in this field in Kecskemét College.

Keywords: accumulator, state of health, state of charge.

Összefoglalás

Lítium-ion akkumulátorok napjainkban is fontos szerepet játszanak a hordozható, mobil elektromos berendezéseink működtetésében. A jövőben azonban még nagyobb feladat vár rájuk a gépjárművek hibrid, illetve teljesen elektromos üzemeltetése során. Előadásomban röviden ismertetem a Li-ion akkumulátorok működését, problémáit, azok megoldási lehetőségeit és beszámolok a főiskolánkon ezirányban tett erőfeszítéseinkről.

Kulcsszavak: akkumulátor, élettartam, töltöttség.

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb figyelem fordítódik a gépjárművek hibrid, illetve tisztán elektromos meghajtásának problémakörére. Az ehhez szükséges elektromos energiatároló egységnek jelenleg a Li-ionos akkumulátorok kínálóznak tekintve nagy energiatárolási sűrűségüket, nagy teljesítménysűrűségüket, a nagy működési élettartamukat és a környezetbarát jellegüket. Előadásomban összefoglalom a Li-ion akkumulátorokkal kapcsolatos legfontosabb ismereteket és beszámolok az ezek vizsgálatával, tesztelésével kapcsolatos a Kecskeméti Főiskolán folytatott tevékenységünkről.

2. Felépítés, működés

A Li-ion akkumulátor cellák szendvicsszerűen öt rétegből állnak [1]:

- rézből készült árambegyűjtő negatív elektróda,
- kompozit negatív porózus elválasztható réteg,
- elválasztó réteg az elektrolittal,

- kompozit pozitív porózus elválasztható réteg,
- alumíniumból készült áramgyűjtő pozitív elektróda.

A kompozit elektródák az aktív anyagi részecskéiből és egy őket összetartó kötőelemből és egy megfelelő szűrő anyagból állnak.

Teljesen feltöltött állapotából az akkumulátor kisütésének folyamata a következő:

- A folyamat elején a negatív elektróda teljesen be van vonva lítiummal, és a pozitív elektróda lítium-mentesen kész a Li-ionok fogadására.
- A kisülés során a Li-ionok leválnak a negatív elektródáról, oldódnak az elektrolitba, miközben a pozitív elektróda rétegben a Li-ionok az elektrolitból kiválnak. Ez Li-ion koncentrációjának térbeli gradienseinek kialakulásához vezet, ami a Li-ionoknak a negatív elektródától a pozitív elektróda felé kialakuló áramlását hajtja.
- A cella feszültsége fokozatosan csökken, az elektródák felületén meglevő lítium koncentrációk különbsége csökken.
- A kinetikus, ohmikus és a tömegáramokból adódó ellenállás tényezőkön hő keletkezik a cellákban. A hő keletkezésének mértéke a cella különböző részein eltérő lehet. Ennek megfelelően a cellában az egyenetlen koncentráció- és potenciál-eloszlás mellett egyenetlen hőmérséklet eloszlás is kialakul.

3. A Li-ionos akkumulátorok működési tartományai

A Li-ionos akkumulátorok üzemi feszültsége általánosságban 1,5-4,2 V-nak mondható, de függ az akkumulátor fajtájától; biztonságos és megbízhatósági működési hőmérséklet tartományuk jellemzően 0 - 45 °C:

- 90-120 °C: SEI (solid-electrolyte interface) film exoterm bomlásnak indul (de már vannak olyan elektrolit rendszerek is amelyek már 69 °C mellett bomlásnak indulnak)
- 120 °C felett: A SEI-film nem képes tovább védeni a negatív szén-elektrodát az oldallégi reakcióktól, robbanógázok keletkeznek.
- 130 °C közelében: az „elválasztó” közeg kezd megolvadni, ezzel az akkumulátor cella tönkremegy.
- 130 °C felett: a pozitív elektróda is elbomlik és oxigén szabadul fel. A folyamat beindulásának küszöbhőmérséklete függ az elektródák összetételétől.
- 200 °C felett: az elektrolit elbomlik és robbanógázok keletkeznek. Ez tűz keletkezéséhez vezet.
- Li-ionos akkumulátor 0 °C alatti töltése esetén fémes lítium válik ki a negatív szénelektroda felületén, ezzel csökkentve az akkumulátor élettartamát.
- Nagyon alacsony hőmérsékleten a pozitív elektróda elpattan, rövidzárat okozva.
- Ha az akkumulátor feszültsége túlságosan magasra feltöltött, vagy túlságosan alacsonyra lemerített, akkor fázisátalakulás következtében a rácsszerkezet összeomlik, ezzel az akkumulátor kapacitása lecsökken. Továbbá a negatív réz kollektor akár fel is oldódhat az elektrolitban, és az újabb feltöltés esetén réz dendritek formálódhatnak a negatív elektróda felületén, ami az akkumulátoron belüli rövidzárhoz vezethet.
- A túlzott feltöltés, illetve a túlzott lemerítés robbanógázok keletkezésével is járhat. Túlzott feltöltés esetén a pozitív elektróda kémiai átalakulása miatt jelentős hő keletkezhet. Továbbá fémes lítium válhat ki a negatív elektródára, ami az akkumulátor kapacitásának csökkenéséhez vezet és biztonsági problémát okozhat a belső rövidzár keltésével.

A problémák megoldására a kereskedelmi forgalomban kapható Li-ionos akkumulátorokat saját menedzselő rendszerrel kell ellátni, hogy minden egyes akkumulátorcella a megfelelő paraméterekkel működhessen.

4. Li-ionos akkumulátorok felügyelete

Elektromos közlekedési eszközökben többféle Li-ionos akkumulátort is használnak. Az egyes cellák kapacitása és feszültsége relatíve kis értékű, ezért az akkumulátorok gyakran több száz akár több ezer Li-ionos akkumulátor cellából is állhatnak. Ezek működésének összehangolására nagyon fontos megfelelő BMS (Battery Management System) kialakítása. Bár nem alakult ki teljes konszenzus a BMS mibenlétéről, szokás azonban azt a tág értelmezésű definíciót alkalmazni, ami szerint a BMS egy olyan rendszer, amely menedzseli az akkumulátor működését.

A közlekedési eszközökben alkalmazott BMS különböző szenzorokból, aktuátorokból és kontrollerekből állnak, utóbbi fontos része a speciális kiértékelő algoritmus. A BMS három fő feladata:

- Az akkumulátorcellák és moduljainak meghibásodás elleni védelme.
- Az akkumulátor egészének a kívánt feszültség- és hőmérsékleti intervallumban való üzemeltetése, hogy garantált legyen annak biztonságos működése és minél hosszabb legyen az élettartama.
- Az akkumulátor működési állapotának felügyeletével az alkalmazás által megkívánt teljesítőképesség biztosítása.

A fejlesztések mai állása mellett [2] a legjelentősebb problémákat a BMS működésében a cella feszültségek megfelelő precizitású mérése, az akkumulátorállapot becslése, a cellák egyenértékűségének fenntartása és a hibadiagnózis jelentik.

5. Akkumulátorok állapotjellemzői

Az akkumulátorok állapotának jellemzői sorába tartozik az SOC (State Of Charge), az SOH (State Of Health) és az SOF (State Of Function). Ezek bonyolult kapcsolatban állnak egymással.

SOC: Értéke teljes feltöltöttség esetén 1, teljes lemerültség esetén pedig 0. A feltöltöttség és lemerültség határait az elfogadható működtetésének határai határozzák meg. Számszerűen az SOC az akkumulátorban tárolt és az abban maximálisan tárolható töltés arányát jelenti. Értékét gyakran százalékban kifejezve adják meg.

SOH: Egy minőségi jellemző szám, amely az akkumulátor öregedésére jellemző. Értéke 100% új akkumulátor esetén, az öregedéssel az SOH értéke csökken. Az SOH értékét az akkumulátor belső ellenállásából, vagy kapacitásából lehet levezetni (nincsen teljesen elfogadott definíció). Az akkumulátorok kapacitása csökken, míg belső ellenállásuk növekszik a használat során.

SOF: Értéke azt szeretné leírni, hogy az adott célra alkalmazott akkumulátor milyen mértékben képes az igényeket kiszolgálni.

Az SOH értékét az élettartam becslése és a hibák diagnózisa együtt határozzák meg. Az SOF értékét az SOH, SOC és a hibadiagnózis eredménye együtt határozzák meg.

A feltöltési, kisütési határállapotok és a cellák hőmérsékletének engedélyezett működési tartománya meghatározásához figyelembe kell venni az akkumulátor SOH paraméterét is.

6. Következtetések, tervek

A Kecskeméti Főiskolán célul tűztük ki lítium-akkumulátorok állapotbecslési módszereinek vizsgálatát a várható üzembiztos működési idő megállapítása céljából. A feladat megoldását befolyásoló tényezők:

Az akku adatlapján szereplő adatok idealizált mérési körülményekre érvényesek, a gyakorlatban használható értékektől általában jelentősen eltérnek. Függnek a körülményektől,

pl. kiinduló hőmérséklet, környezet hőmérséklete, hűtés mértéke. Ezek az adatok a valós működési körülményekre vonatkozóan elég megbízhatatlan információkat adnak. Ehhez járulnak még a gyártók közötti kiélezett versenyek, melyeknek köszönhetően nem kapunk objektív, használható kiindulási adatokat az előrebecsléshez.

A terhelés nélküli feszültség és a belső impedancia értéke tájékoztatást adhat az akkumulátor várható kimerülésének idejéről lítium-akkumulátorok esetében. Vizsgálatainkat adott típusú, adott gyártótól származó akkumulátoron kell végeznünk, mert a különböző gyártóktól származó akkumulátorok jellemzői, paramétereinek jellege különböző.

A hőmérséklet változása is adhat tájékoztató adatot a töltöttségről, azaz adott teljesítmény mellett minél magasabb a hőtermelés mértéke, annál kisebb a töltöttség.

A leírtakat figyelembe véve egy célirányos megoldás lehet a kapocsfeszültség és a belső impedancia mérések mellett a hőtermelés nagysága, az általa okozott hőmérsékletnövekedés nagysága és a terhelés közötti korreláció keresése egy adott időintervallum alatt adott terheléseknél.

A kísérleti berendezést úgy kell megépíteni, hogy megvalósítható legyen az akkumulátorban keletkezett hőmennyiségének kiintegrálása különböző terhelések, kisütések függvényében egy adott idő alatt figyelembe véve a környezeti hőmérsékletet is, mint egy bementi paramétert. Ezek függvényében kell a teljes elhasználódásig vizsgálni az akkumulátorokat, és ebből megállapítani azt a függvényt, melyből a későbbi előrebecslés folyamán megadhatjuk a még valószínűsíthető fennálló működési időt.

A feladat megoldásához először fel kell vennünk azokat a bementi paramétereket, amelyek függvényében mérjük a kapocsfeszültséget, a belső impedanciát és a keletkezett hőmennyiséget és hőmérséklet emelkedését. Ezek kiválasztása lényegi kérdés a feladat megoldása során.

Bemenő paraméterek lehetnek például a terhelő áram, terhelő áram ideje, töltési áram, töltési áram ideje, terhelés nélküli állapot ideje, külső hőmérséklet, töltés idején a cella hőmérséklete, terhelés idején a cella hőmérséklete, terhelés jellegére vonatkozó paraméterek, üzemben lévő idő, stb.

Válaszfüggvények a bemenő paraméterek ismeretében lehetnek például: a cella kapocsfeszültsége, a cella belső impedanciája, terhelés nélküli állapotban a feszültségcsökkenés mértéke (dU/dt), terhelés alatti állapotban a feszültségcsökkenés mértéke (dU_t/dt), a terhelő áram ideje alatti fejlődött hőmennyiség (a környezethez viszonyított hőmérséklet emelkedésből számolva), töltési áram ideje alatti fejlődött hőmennyiség (a környezethez viszonyított hőmérséklet emelkedésből számolva), stb.

A cellák tesztelésére tervezett berendezésünk megépítése jelenleg még folyamatban van.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely a TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012: "Smarter Transport" - Kooperatív közlekedési rendszerek infokommunikációs támogatása - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Gomadam, P.M., és mások: *Mathematical modeling of lithium-ion and nickel battery systems*, J. Pow. Sources (2002) 110. kötet, 267-284 oldalak.
- [2] Lu, L., és mások: *A review on the key issues for lithium-ion battery management in electronic vehicles*, J. Pow. Sources (2013) 226. kötet, 272-288 oldalak.