

ELECTRIC ENERGY STORAGE DEVICES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Flavian Zacretechi, PhD Student, "Al. Ioan Cuza" University of Iași

Abstract: In globalization process are involved some important components which are needed without exception. It is almost impossible to talk about globalization if we can't provide a sustainable development for all the actors implied in process, and also if the poverty isn't reduced on large scale. Globally speaking, there are a few industrial fields able to decide and to change the comportment of the world, one of the most important industry capable to shake the economy is the energy branch.

This paper aims to underline the importance of electric energy for sustainable development and, more than that, this paper underline how important are researches in the field of electric energy storage devices. In this days, fossil energy is still the most used energy resource, but in the same time is also expensive, the reason for which this type of resources are used is because they can be stored in large amount for long time.

A powerful electric energy storage system will make a big difference in development process of the entire world, using such systems, living cost will be cheaper, living standard could be raised and also the pollution will be significantly reduced, electric energy being cheap and without any danger of ending.

Keywords: *Li-Ion technology, electric energy and sustainable development, energy storage systems*

Context global

"Dezvoltarea durabilă este acel proces de dezvoltare care răspunde nevoilor actuale fără a periclita capacitatea generațiilor viitoare de a răspunde propriilor lor nevoi. [...] Pentru ca dezideratul dezvoltării durabile să poată fi atins, protecția mediului va constitui parte integrată a procesului de dezvoltare și nu poate fi abordată independent de acesta." [1]

Dezvoltarea este durabilă atunci când are la bază atât obiective economice cât și obiective sociale și de mediu. Dezvoltarea durabilă implică dezvoltare economică durabilă, iar asta implică utilizarea resurselor naturale în mod eficient și durabil, să alocăm o importanță deosebită protecției mediului și scăderii emisiilor de CO₂. În vederea optimizării consumului de resurse cât și pentru a reduce nivelul de poluare este necesară dezvoltarea continuă de noi tehnologii și metode de obținere și stocare a energiei [2].

Uniunea Europeană duce o politică amplă în vederea dezvoltării durabile și a demonstrat că înțelege pe deplin importanța surselor energetice utilizate, astfel că a stabilit anumite obiective propuse spre implementare până în anul 2020, iar două dintre aceste obiective fac referire la creșterea ponderii surselor de energie regenerabilă cât și creșterea eficienței energetice cu până la 20% [3].

În momentul de față, combustibilii fosili încă reprezintă cea mai importantă sursă energetică utilizată atât în industrie cât și în utilizarea la nivel individual. Utilizarea atât de intensă a acestor tipuri de combustibili (petrol, gaze, cărbuni) aduce după sine, pe lângă avantajele cunoscute și resimțite, o mulțime de dezavantaje majore. Economia mondială depinde în mod direct de aceste resurse, astfel că dependența excesivă de combustibili fosili

expune consumatorii și întreprinderile la fluctuații de preț, securitatea economică este amenințată, acest fapt fiind un posibil pas spre destabilizare generală [4].

Într-adevăr, găsirea de soluții alternative de producere a energiei este o preocupare la nivel global, iar astfel de soluții cu siguranță vor atrage după sine creșterea nivelului de trai. Din fericire însă, în ultima decadă s-au dezvoltat cu succes și s-au adoptat spre utilizare diverse soluții alternative și nepoluante de producere a energiei electrice. Utilizarea energiei electrice la o scară mult mai largă (în industria auto, la încălzire și în rețelele de transporturi) ar genera o serie de beneficii incontestabile. În industria auto există din ce în ce mai multe încercări de a crea un automobil care să funcționeze exclusiv pe energie electrică, astfel să putem fi capabili de a renunța la combustibilii fosili [5]. Avantajele principale a utilizării de mașini electrice sunt: eliminarea emisiilor de CO₂, astfel am avea parte de o scădere substanțială a nivelului de poluare la nivel global, iar din punct de vedere economic s-ar consolida capacitatea de rezistență a economiilor în fața riscurilor prezentate de combustibilii fosili.

Odată cu dezvoltarea tehnologică costurile de producere a energiei electrice au scăzut considerabil, ba chiar, capacitatea de producție depășește capacitatea de consum a energiei electrice, iar acest fapt duce la o veche provocare ce a ținut ocupata mintea cercetătorilor încă din jurul anului 1800 și anume de a crea un sistem electrochimic capabil să înmagazineze o cantitate cât mai mare de energie electrică, pe care să o furnizeze atunci când va fi necesară.

Automobilele electrice de exemplu au fost perfecționate din punct de vedere al tehnologiei mecanice, ba chiar oferă performante superioare față de cele care folosesc motoare pe baza de combustibili fosili, în schimb marele dezavantaj îl reprezintă lipsa sistemelor performante de înmagazinare a energiei electrice, ceea ce atrage după sine o limitare substanțială a autonomiei. De asemenea, echipamentele electronice portabile au căpătat un rol extrem de important în viață de zi cu zi și aduc un aport substanțial procesului de dezvoltare, dar și acestea depind foarte mult de sistemele de stocare a energiei electrice. Telemedicina este un alt segment de importanță majoră într-o societate dezvoltată și din nou, sistemele de stocare a energiei electrice au o importanță majoră. Acestea sunt unele dintre motivele importante pentru care este impetuos necesar ca știința să își depășească din nou limitele și să vină cu soluții performante de înmagazinare a energiei electrice.

Istoricul dezvoltării

Cele mai importante sisteme de stocare a energiei electrice care s-au remarcat de-a lungul timpului sunt pilele de combustie, bateriile electrochimice și supercondensatorii. Acumulatorul reîncărcabil pe bază de plumb este descoperit în anul 1859 de către Gaston Plante. În anul 1899, o importantă descoperire este realizată de către suedezul Waldmar Jungner, acesta inventând bateria nichel-cadmium, având catodul din Ni și anodul din Cd. Bateriile Ni-MH au apărut în anul 1990, iar marele lor avantaj era densitatea de putere mai mare decât a celor Ni-Cd. În momentul de față, cele mai utilizate baterii reîncărcabile în aplicațiile portabile, sunt cele pe bază de Li-Ion, fiind concepute pentru prima dată în Japonia, în anul 1991 de către Sony. Față de ceilalți acumulatori existenți, acestea oferă o tensiune mai mare la borne, densitate de energie și putere specifică mare și un preț relativ scăzut. [6]

O baterie este un dispozitiv care convertește energia chimică conținută în materialele sale active direct în energie electrică prin intermediul unei reacții electrochimice de oxidare-reducere (redox). În cazul unui sistem reîncărcabil, bateria este reîncărcată printr-un proces invers. Acest tip de reacție implică transferul de electroni de la un material la altul printr-un circuit electric. Într-o reacție redox ce nu este electrochimică, cum ar fi ruginirea sau arderea, transferul de electroni are loc în mod direct, fiind implicată doar căldura. Dat fiind faptul că bateriile au la bază reacții electrochimice prin care se transformă energia chimică în energie electrică, acestea nu se supun limitărilor ciclului Carnot, date de a doua lege a termodinamicii; acestea au o eficiență și o rată de conversie mult mai mare a energiei.[7]

În timp ce termenul de “baterie” este adesea folosit, unitatea electronică la care se face referire este celula. O baterie este alcătuită din două sau mai multe celule, fiind conectate în serie sau în paralel, sau mixt, în funcție de capacitatea și tensiunea de ieșire care se dorește a se obține.

Celula este formată din trei componente:

1. *Anodul*, sau electrodul negativ – electrod donor - care cedează electroni la circuitul exterior și este oxidat în timpul reacției electrochimice.
2. *Catodul*, sau electrodul pozitiv – electrod de oxidare – care acceptă electroni de la circuitul exterior și este redus în timpul reacției electrochimice.
3. *Electrolitul* – mediul conductor ionic - prin acesta se face transferul de sarcină între anod și catod. Electrolitul este de obicei un lichid, apă sau alți solvenți, în care sunt dizolvate săruri sau acizi, pentru a oferi conductivitate pentru ioni. Unele baterii folosesc electroliți solizi, care sunt conductori la temperatura de operare a bateriei.

Cele mai avantajoase grupări anod-catod sunt cele care oferă o greutate finală cât mai mică, o tensiune de ieșire și o capacitate de înmagazinare cât mai mare. Din nefericire, nu întotdeauna astfel de combinații sunt practice, uneori din cauza reacțiilor pe care le-ar putea avea cu materialele celelalte ce intră în alcătuirea bateriei, din cauza unei manevrabilități îngreunată, dar, de cele mai multe ori, din cauza costului ridicat la care se ajunge. În momentul descărcării și încărcării apar reacții electrochimice de oxidoreducere, respectiv de transfer de sarcină, electronii migrând de la un electrod la celălalt printr-un circuit extern.

Perspective

Bateriile Lithium-Ion sunt alcătuite din celule ce folosesc compuși de litium, de intercalare atât pentru materialele negative, cât și pentru cele pozitive. În timpul operării unei baterii, ionii de litium (Li^+) sunt transferați între electrodul negativ și cel pozitiv. Aceste tipuri de baterii mai sunt numite și „baterii de balans”, dat fiind faptul că ionii de litium „balansează” între polul negativ și cel pozitiv, în timp ce celulele sunt descărcate sau încărcate. Electrodul pozitiv este de obicei făcut dintr-un oxid de metal cu o structură de straturi, cum ar fi oxid de litium cobalt (LiCoO_2) sau un material cu o structură tunelară, cum ar fi oxidul de litium magneziu (LiMn_2O_4) pe un colector format din foiță de aluminiu. Electrodul negativ este de obicei realizat din grafit, de asemenea un material stratificat pe un colector de cupru. În procesele de încărcare/descărcare, ionii de litium sunt inserați sau extrași din spațiile interstițiale ale materialelor și obiectelor active.

Marea majoritate a bateriilor din comerț utilizează ca material pentru electrodul pozitiv LiCoO_2 . Oxidul de cobalt de litiu oferă performanțe electrice ridicate, se prepară cu ușurință, oferă siguranță în utilizare și își păstrează, în mare parte, proprietățile, chiar dacă au loc variații de temperatură și mediu. În ultima perioadă au fost introduse pe piață materiale mai performante și a căror costuri de producție sunt mai scăzute, precum LiMn_2O_4 sau oxidul de nichel cobalt ($\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$), permițându-se astfel dezvoltarea de baterii cu performanțe îmbunătățite. Această tehnologie s-a dezvoltat repede și a devenit principala sursă de alimentare pentru o gama largă de produse din piață și de asemenea, performanțele bateriilor Li-Ion sunt îmbunătățite pe măsură ce tot mai multe domenii și aplicații adoptă acest tip de alimentare.

Faptul că au o energie specifică mare ($\sim 150\text{Wh/kg}$) și o densitate energetică mare ($\sim 400\text{Wh/L}$) face ca acești acumulatori să fie ideali pentru aplicații care necesită o greutate și o dimensiune redusă. Aceste tipuri de baterii au o rată de autodescărcare mică, fiind între 2%-8% pe lună, o durată de viață lungă, de peste 1000 cicluri încărcare - descărcare și o plajă foarte largă a temperaturilor de operare, pentru încărcare -20°C - $+60^\circ\text{C}$, iar pentru descărcare, -40°C - $+65^\circ\text{C}$. O singură celulă construită cu această tehnologie și aceste materiale poate genera o tensiune între 2.5V și 4.2V, iar asta cu aproximație înseamnă aproape de 3 ori mai mult decât poate genera o celulă construită cu NiCd sau NiMH, astfel pentru a obține o anumită tensiune, sunt necesare mai puține celule.

Utilizarea Li-Metal în acest tip de baterii generează probleme legate de siguranță în exploatare, motiv pentru care au fost dezvoltate anumite combinații de structuri fizice pe bază de litium pentru anod. Una dintre soluțiile găsite a fost intercalarea litiului într-o rețea cristalină de grafit. Electrolitul are și el marele dezavantaj de a coroda aluminiul. Din aceste motive, structurile bateriilor pe bază de Li sunt diverse și dificil de expus pe larg. Totodată, dezvoltarea acestui tip de baterii este continuată în prezent, un standard general valabil nefiind, încă, tradus în practică. Principalul avantaj al acestor baterii este densitatea mare de energie, ajungând până la 250Wh/kg [8].

Un dezavantaj al bateriilor pe bază de Li-Ion este acela că în cazul în care sunt descărcate sub valoarea de 2V acestea se degradează, același lucru întâmplându-se și dacă are loc o supraîncărcare, din moment ce acestea nu au un mecanism de gestionare așa cum au acumulatorii pe bază de electroliți apoși. De obicei, bateriile pe bază de Li-Ion necesită circuite suplimentare care să le ofere acestora protecție, să îi deconecteze de la sursa de alimentare pentru a evita supraîncărcarea sau supraîncălzirea. Un alt dezavantaj este că se deteriorează atunci când sunt supuși la temperaturi de peste 65°C , reducându-și capacitatea de stocare.

Din păcate, în momentul de față acumulatorii pe Li-Ion se pare că au atins un prag al performanței greu de depășit, de aceea există numeroase cercetări menite să aducă un element de noutate și o îmbunătățire substanțială a acestei tehnologii. În ultima perioadă atenția cercetătorilor s-a îndreptat către dezvoltarea unei tehnologii bazate pe Li, dar care să folosească electrolit organic (solid), anod metalic de Litium și catod de carbon poros, umplut cu electrolit organic, astfel aerul exterior va parcurge porii catodului, va difuza prin electrolit ca mai apoi să reacționeze cu ionii de Li. Această tehnologie a devenit cunoscută ca fiind Li-Air [9]. Bateriile Li-Air au atras atenția datorită nivelului teoretic ridicat al densității de

energie prezentată, în comparație cu alte tehnologii. Densitatea mare de energie a acestor baterii le recomandă spre a fi folosite în aplicații ce necesită surse de energie care să nu cântărească mult și cu un volum cât mai scăzut, cum ar fi dispozitivele electronice portabile, aparatele de zbor fără pilot sau orice alt dispozitiv ce funcționează în spații în care aerul este prezent. În momentul de față această tehnologie rămâne doar la nivel teoretic, în practică obținându-se momentan doar o mică parte din densitatea energetică teoretică maximă [10].

Dacă îmbunătățirile la nivel electro-chimic, după cum a fost prezentat, sunt mai greu de realizat, îmbunătățirea performanțelor poate fi făcută într-o manieră mai ușoară (dar nu atât de performantă) prin optimizarea sistemului de management utilizat și a modului de reîncărcare.

Realizări și dezvoltare viitoare

Analizând toate aceste aspecte, ne dăm seama cât de importante sunt cercetările în domeniul sistemelor de stocare a energiei pentru a putea obține o dezvoltare durabilă. Un sistem performant de stocare a energiei electrice ar face posibilă obținerea independenței energetice, și ar minimiza riscurile la care suntem expuși în acest moment datorită limitării oferite de utilizarea combustibililor fosili.

Cercetările întreprinse de noi în acest domeniu analizează sistemele de management utilizate de acumulatori cât și comportamentul acestora în funcție de modul de utilizare. Studiile au fost efectuate pe acumulatori de tipul NiMh cât și pe cei de tipul Li-Ion. În cazul celor care utilizează anod de Ni s-a observat un caracter histeretic accentuat, lucru care atrage după sine și un management defectuos deoarece starea de încărcare a acestora prezintă o eroare ridicată. Din acest punct de vedere, acumulatorii pe baza de Li sunt mai performanți, caracterul histeretic fiind prezent doar în cazul celor utilizați intens, a căror durată de viață s-a scurtat considerabil. Prin experimentele realizate am demonstrat cum reîncărcarea haotică a acestor acumulatori atrage după sine o scădere considerabilă a performanțelor, astfel că acumulatorii supuși unui astfel de regim ar putea deveni inutilizabil în foarte scurt timp. De asemenea, am analizat și procesul invers, reușind să îmbunătățim performanțele unor acumulatori “îmbătrâniți” artificial, utilizând un procedeu corespunzător de reîncărcare.

În cadrul acestei cercetări, pe viitor, urmărim să dezvoltăm la nivel teoretic și practic un sistem de management care să maximizeze performanțele sistemelor de stocare a energiei electrice.

Acknowledgment: This work was supported by the strategic grant POSDRU/159/1.5/S/137750, Project “Doctoral and Postdoctoral programs support for increased competitiveness in Exact Sciences research” cofinanced by the European Social Found within the Sectorial Operational Program Human Resources Development 2007 – 2013

REFERINȚE:

- [1] - Declarația asupra Mediului și Dezvoltării, Rio de Janeiro, 1992
- [2] – Comisia Europeană – Europa 2020 – “Creștere durabilă – Pentru o economie mai competitivă, mai ecologică și mai eficientă din punctul de vedere al utilizării resurselor”

-
- [3] – Comisia Europeană, Comunicare a comisiei către parlamentul european, consiliu, comitetul economic și social european și comitetul regiunilor, “O Europă eficientă din punctul de vedere al utilizării resurselor - inițiativă emblematică a Strategiei Europa 2020” - Bruxelles, 26.1.2011 COM(2011) 21 final
- [4] - <http://www.cdi2020.ro/wp-content/uploads/2014/02/energie.pdf> (Accesat 08.05.2015)
- [5] – http://www.cnr-cme.ro/biblioteca_files/traimpeoplaneta/traim6.pdf (Accesat: 08.05.2015)
- [6] - https://alili2001.files.wordpress.com/2014/12/m07_chimfiz.pdf (Accesat 08.05.2015)
- [7] - Yutaka Ota, Masaru Sakamoto, Rei Kiriake, Takashi Kobe, and Yoshihiro Hashimoto – “Modeling of Voltage Hysteresis and Relaxation of HEV NiMH Battery”, Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008
- [8] - <http://www.radioamator.ro/articole/view.php?id=173>) (Accesat 14.01.2015)
- [9] - Andrei, Petru; Zheng, Jim P.; Hendrickson, Mary; and Plichta, E. J., “*Some Possible Approaches for Improving the Energy Density of Li-air Batteries*” (2010). All Faculty Publications. Paper 15, http://diginole.lib.fsu.edu/faculty_publications/15
- [10] - Andrei, Petru; Zheng, Jim P.; Hendrickson, Mary; and Plichta, E. J., “Modeling of Li-Air Batteries with Dual Electrolyte” (2012). All Faculty Publications. Paper 14. http://diginole.lib.fsu.edu/faculty_publications/14