

Curs 7

Sisteme de stocare a energiei în VE și VEH

Sistemele de stocare a energiei se referă la unități care, funcție de necesități pot livra energie (în proces de descărcare) și pot acumula energie (în proces de încărcare). Există mai mult tipuri de surse de energie care pot fi aplicate vehiculelor. Din aceste categorii vom apela cele care se referă la energia electrică, respectiv, vom dezbate sisteme cu voltante, care fac stocarea energiei mecanice sub formă de inerție acestea fiind specifice tuturor vehiculelor.

Unitățile de stocare ale energiei până în momentul de față includ baterii bazate pe reacții chimice, ultracondensatori sau supercondensatori, respectiv, volante de viteze foarte mari. În acest capitol nu vom dezbate și nu vom face referiri la pilele de combustie, care defapt nu sunt neaparat sisteme de stocare a energiei, ci ele sunt mai mult convertoare de energie unidirecționale, prin reacții chimice.

Pentru a putea instala pe un VE sau VEH anumite sisteme de stocare a energiei, este necesar să se țină cont de o serie de specificații clare cum ar fi energia specifică, puterea specifică, randamentul, necesitatea mentenanței, management, costuri, adaptarea la mediul ambiant, adaptarea la utilizator și siguranța în exploatare. Primul pas la adaptarea unei surse de energie la un VE este energia specifică, aceasta făcând apel la limitarea autonomiei lui. Pe de altă parte, la VEH, acest factor devine mai puțin semnificativ, locul lui fiind preluat de puterea specifică, cum toată energia vine de la o sursă care este motorul cu combustie sau pila de combustie. Ca atare este necesară și suficientă o anumită putere pentru a asigura performanțele vehiculului, în mod particular la accelerare, urcare pe pantă și frânarea recuperativă. Desigur, există și o serie de constrângeri de natură mecanică care trebuie considerate pentru proiectarea sistemului de distribuție mecanică a puterii.

7.1. Baterii electrochimice

Bateriile electrochimice sunt în mod comun cunoscute sub numele simplu de *baterii*. Acestea sunt echipamente care convertesc energia chimică în potențial electric, la faza de descărcare, respectiv, convertesc potențialul electric la borne în energie chimică la faza de încărcare. O baterie este formată din grupuri de celule conectate împreună. O celulă este o unitate de sine stătătoare care are toate proprietățile necesare producerii energiei electrice. Din punct de vedere structural, o celulă constă din trei elemente: doi electrozi (unul pozitiv și unul negativ) scufundați într-un electrolit, asemenea ilustrației din fig. 7.1.

Producătorii de baterii în general fac referire la ele prin capacitatea coulometrică (amper-oră) care este definită în numărul de amperi-oră la descărcarea bateriei de la stadiu de încărcare de 100% până tensiunea la bornele bateriei cade la tensiunea de prag minim (vezi fig. 7.2). Trebuie menționat faptul că aceeași baterie poate să aibă valori diferite ale capacității ei la diferiți curenți de descărcare. De obicei, capacitatea devine tot mai mică atunci când descărcarea se face la curenți mari, asemenea fig. 7.3. Producătorii de obicei specifică pentru fiecare baterie o gamă de capacități funcție de anumiți curenți. De exemplu, pe o baterie pe care este notat 100Ah la C5 înseamnă că are o capacitate de 100Ah la 5 ore de descărcare. Asta se traduce direct în curentul de descărcare, și anume $100/5=20A$.

Un alt parametru foarte important al bateriilor este stadiul de încărcare. În literatura străină acesta poartă numele de *state of charge* și se notează cu SOC. El definește defapt capacitatea rezervă pe care o baterie o are față de stadiul de încărcare maxim. Cu această definiție putem zice că o baterie încărcată la maxim are SOC de 100%. Trebuie din nou să menționăm faptul că aceasta capacitate este funcție de curentul de descărcare care va fi absorbit din baterie.

Schimbarea SOC într-un interval de timp dt , la încărcare sau descărcarea bateriei la un curent i poate fi exprimată:

$\Delta SOC = \frac{i dt}{Q(i)}$	(7.1)
----------------------------------	-------

Unde $Q(i)$ este capacitatea amper-oră a bateriei la un curent i . Pentru descărcare, curentul i este pozitiv iar pentru încărcare, el este negativ. Ca atare SOC poate fi exprimat astfel:

$SOC = SOC_0 - \int \frac{i dt}{Q(i)}$	(7.2)
--	-------

Unde SOC_0 este stadiul inițial de încărcare al bateriei.

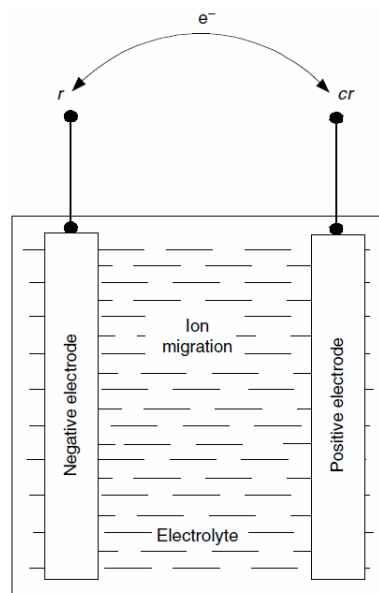


Fig. 7.1 O celulă de baterie electrochimică

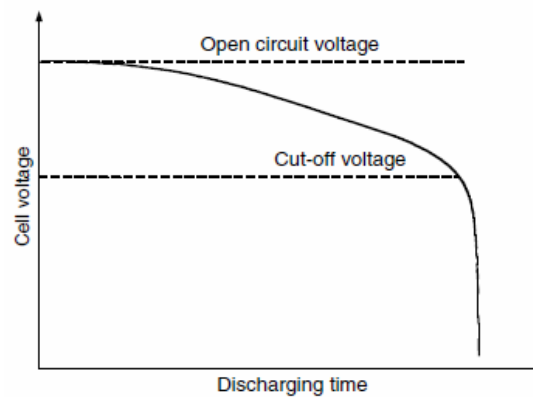


Fig. 7.2 Tensiunea de prag minimă a unei celule

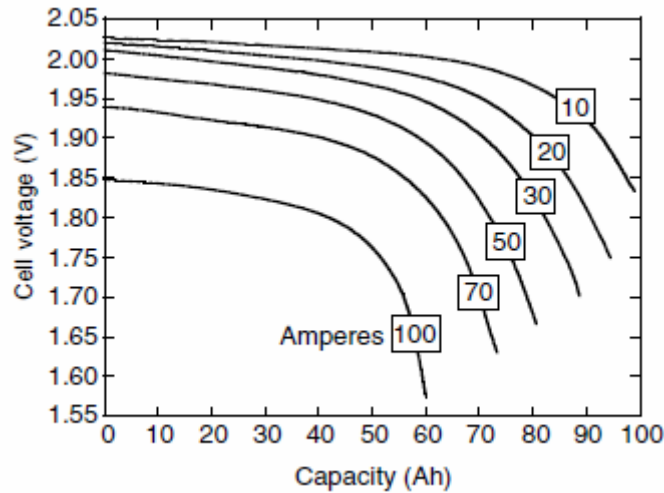


Fig. 7.3 Caracteristicile de descărcare ale bateriilor cu acid

Pentru VE și VEH, capacitatea sub formă de energie este mai importantă decât cea coulometrică deoarece este în relație directă cu funcționarea vehiculului. Energia livrată de baterie poate fi exprimată astfel:

$EC = \int_0^t V(i, SOC) i(t) dt$	(7.3)
-----------------------------------	-------

Unde, $V(i, SOC)$ este tensiunea la bornele bateriei, care este funcție de SOC.

Energia specifică a bateriei este definită ca și capacitatea de energie livrabilă per greutatea bateriei (Wh/kg). Din punct de vedere teoretic, energia specifică caracterizează energia maximă care poate fi generată de totalitatea celulelor reactive chimic ale bateriei.

Energia specifică teoretică a unei baterii este:

$E_{spec} = -\frac{\Delta G}{3.6 \sum M_i} (Wh / kg)$	(7.4)
---	-------

Unde, $\sum M_i$ este suma moleculară a reactanților individuali implicați în reacția bateriei;

ΔG este energia disponibilă.

Puterea specifică este definită ca puterea maximă pe care o unitate de baterie cu o anumită greutate o poate livra pentru un timp scurt de timp. Puterea specifică este importantă pentru că ajută la reducerea greutății bateriei, în special acolo unde este nevoie de putere mare livrată la perioade scurte, de exemplu în VEH și VE.

Această putere depinde foarte strâns de rezistența internă a bateriei. Puterea maximă pe care o baterie o poate livra la un moment dat este:

$P_{peak} = \frac{V_0^2}{4(R_c + R_{int})}$	(7.5)
---	-------

Unde, R_c este rezistența conductorului de legătură iar R_{int} este rezistența internă provocată de reacția chimică.

Randamentul bateriei este caracterizat de cantitatea de putere sau energie care se pierde în prezența reacției chimice necesară producerii tensiunii. Ca atare, în perioadele de încărcare și descărcare se pot defini randamente pentru fiecare moment, ca raport între tensiunea celulei și tensiunea termodinamică, astfel:

$\text{la incarcare } \eta = \frac{V}{V_0}$	(7.6)
$\text{la descarcare } \eta = \frac{V_0}{V}$	

Tensiunea la bornele bateriei, în funcție de curent și de energia stocată în ea, este mai mică la descărcarea ei, și mai mare la încărcarea ei, decât potențialul electric produs la nivelul reacției chimice.

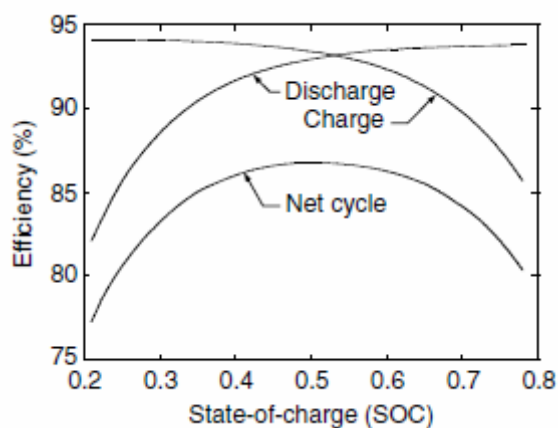


Fig. 7.4 Variația randamentului cu încărcarea/descărcarea bateriei

În fig. 7.4 se poate observa variația randamentului unei baterii acid-plumb în perioadele de încărcare și descărcare. Se observă că bateria are un randament ridicat la descărcare, și un randament ridicat la încărcare începând de la SOC foarte mici. Ca atare prin medierea celor două caracteristici, se poate calcula un ciclu net de randament care are maximum la undeva la 0,5 SOC. Ca atare, unitatea de control a bateriei trebuie să controleze SOC în permanență în așa fel încât acesta să fie în jur de 0,5 tot timpul. Asta va duce la reducerea încălzirii bateriei datorită pierderilor, iar această reducere va prelungi viața ei.

7.2. Tehnologia bateriilor

Cele mai utilizate baterii în sisteme tip VEH și EV sunt cele cu acid plumb, nichel-fier, nichel-cadmiu și nichel-metal, apoi cele pe bază de litiu (litium-polimer, litium-ion). Raportând la momentul de față, încă bateriile tip acid-plumb guvernează această industrie, și probabil așa va rămâne pentru încă o vreme. La nivel de termen lung, foarte probabil bateriile de cadmiu și litium vor prelua segmentul de piață.

7.2.1. Baterile de acid-plumb

Bateriile tip acid plumb au avut cel mai mare succes comercial în ultimul secol și încă sunt folosite pe scară foarte largă ca unități de stocare a energiei în domeniul automobilelor dar și în alte aplicații. Avantajele de care se bucură aceste baterii sunt costul redus, maturitate tehnologică, capacitatea mare respectiv numărul mare de cicluri încărcare/descărcare la care rezistă o unitate. Aceste avantaje sunt atractive pentru domeniul VEH, unde puterea mare este un considerent eliminativ. Materialele implicate în construcția lor au preț redus comparate cu materialele utilizate în fabricarea altor tipuri de baterii. Totuși, aceste baterii au și o serie de dezavantaje. Densitatea de energie a acestor baterii este relativ redusă, datorită greutatei plumbului implicat. Caracteristica de temperatură a lor este relativ proastă. Sub 10°C puterea specifică și energia specifică sunt reduse drastic. Ca atare, acest fapt reduce foarte mult utilizarea acestor baterii în domenii de tracțiune electrică în zone cu temperaturi foarte joase.

Prezența acidului care este extrem de coroziv, pe de altă parte, reprezintă un risc ridicat vehiculului și pasagerilor săi. Hidrogenul eliberat datorită reacțiilor de auto descărcare este foarte periculos, având în vedere prezența combustibilului vehiculului care este extrem de inflamabil chiar în cantități reduse. Ca atare, prezența unei izolații care închid ermetic bateria este necesară pentru a păstra gazele bateriei în interiorul ei. Problema care apare în acest caz este riscul de a crește presiunea care ia naștere în baterie, care produce eforturi nedorite pe carcasa ei. O altă problemă este prezența plumbului care prin natura lui este deosebit de toxic. Ca atare producția bateriilor respectiv dezafectarea lor după finalizarea ciclului de viață sunt etape care reprezintă o provocare pentru utilizatori.

Azi, o serie mare de baterii tip acid plumb cu performanțe ridicate sunt în fază de cercetare și producție special pentru domenii de VE și VEH. Îmbunătățiri ale bateriilor închise cu energie specifică de peste 40Wh/kg, cu posibilitate de încărcare rapidă sunt acum în plină dezvoltare. Performanțe serioase s-au obținut pe bateria tip Horizon Electrosorce. Aceasta adoptă un plan orizontal de plasă țesută din plumb, oferind astfel avantajele energiei specifice ridicate (43Wh/kg) și putere specifică (285W/kg), număr mare de cicluri de viață (peste 600), încărcare rapidă (50% în 8min și 100% în 30min) și preț redus (2000-3000\$ pentru un VE), rezistență mecanică bună, nu necesită mentenanță (pentru ca este închisă) și este prietenoasă din punct de vedere al mediului înconjurător.

Cercetări serioase s-au făcut mereu pentru a rezolva dezavantajele acestor baterii. Energia specifică a fost crescută prin reducerea volumului de materiale inactive cum ar fi carcasa, colectorul de curent, separatoare etc. Durata de viață a fost crescută cu peste 50%-evident prin ridicarea prețului lor. Măsurile de securitate au fost rezolvate prin procese electrochimice auxiliare care absorb emanațiile parazite de hidrogen și oxigen.

7.2.2. Baterile compuse cu nichel

Nichelul este un material metalic mai ușor decât plumbul și are proprietăți electrochimice foarte bune pentru aplicații tip baterii. Există azi dezvoltate patru structuri de baterii compuse cu nichel: nichel-fier, nichel-zinc, nichel-cadmiu și nichel-metal-hibrid.

7.2.2.1 Baterile nichel-fier

Bateriile compuse tip nichel-fier au fost comercializate la începutul secolului 20. Aplicațiile cele mai des întâlnite au fost motostivuitoarele, locomotive de minerit, vehicule de pasageri pentru trasee scurte, locomotive electrice și camioane motorizate electric. Sistemul este compus dintr-un electrod de hidroxid de nichel pozitiv și un electrod negativ metalic. Electrolitul este o soluție concentrată de hidroxid de potasiu care conține și hidroxid de litiu. Din reacția electrochimică a unei celule, tensiunea nominală care se obține este de 1,37V.

Bateriile de nichel fier suferă serios din cauza gazelor evacuate, a coroziunii și a auto descărcării lor. Aceste probleme au fost parțial sau chiar total rezolvate în prototipuri care azi se găsesc deja pe piața de baterii. Ele sunt relativ complexe datorită necesității de a menține nivelul apei respectiv a gazelor emansate datorită procesului de auto descărcare la cote de siguranță. Utilizarea lor în condiții de temperatură scăzută le diminuează proprietățile, dar comparat cu cele de acid plumb ele se situează pe o treaptă superioară. Prețul acestor baterii este net superior celor cu acid plumb. Totuși avantajul lor concret este faptul că densitatea de putere este mai mare decât a celor cu acid plumb, respectiv rezistă până la 2000 de cicluri de încărcare/descărcare.

7.2.2.2 Baterile nichel-cadmium

Bateriile compuse tip nichel-cadmium conțin același electrod pozitiv ca și cele de nichel fier în combinație cu un electrod negativ metalic de cadmiu. Tensiunea produsă de o celulă este de 1,3V. Din punct de vedere istoric, dezvoltarea bateriilor a coincis cu cel al structuri de nichel fier și prezintă aproximativ aceleași performanțe.

Tehnologia nichel-cadmium a fost un pas enorm în dezvoltarea bateriilor pentru că au avantaje cum ar fi putere specifică (peste 220W/kg), cicluri de viață foarte multe (peste 2000), toleranță ridicată la abuzuri de tip electric și mecanic, cadere de tensiune foarte mică la descărcare, capacitate de încărcare rapidă (aproximativ 40-80% în 18 min), temperatura de operare de la -40 la 85°C, auto descărcare foarte redusă (<0,5% pe zi), disponibilitate în toate dimensiunile etc. Totuși această baterie are și o serie de dezavantaje care includ costurile, tensiune relativ mică per celulă respectiv atentarea la mediul înconjurător la prezența cadmiului.

Bateriile nichel-cadmium pot fi divizate în două categorii majore, și anume, cele ventilate și cele compacte. Cele ventilate sunt în mare varietate. Acestea sunt o descoperire relativ recentă în domeniu care au energie specifică mare dar sunt foarte scumpe. Ele au un regim de auto descărcare foarte lent și se comportă foarte bine la temperaturi reduse. Cele care sunt compacte, includ sisteme care previn creșterea presiunii datorită gazelor interne în special la supraîncărcare. Ca atare, bateria nu are nevoie de mentenanță. Companiile care produc aceste baterii sunt SAFT și VARTA. VE care includ azi aceste baterii ca sistem de alimentare sunt Chrysler TE, Citroen AX, Mazda Roadster, Mitsubishi EV, Peugeot 106 și Renault Clio.

7.2.2.3 Baterile nichel-metal-hibrid

Acestea sunt prezente pe piață din 1992. Caracteristicile lor sunt similare cu cele ale bateriilor nichel-cadmiu. Diferența majoră constă în utilizarea hidrogenului absorbit în metalul hibrid pentru activarea electrodului negativ în locul cadmiului.

În prezent bateriile acestea au tensiunea de celulă de 1.2V și o energie specifică de 65Wh/kg la o putere specifică de 200W/kg. Componenta cheie a acestor baterii este hidrogenul în combinație cu metalul care oferă o stabilitate a celulei la un număr mare de cicluri. Există două categorii de asemenea baterii, și anume cele bazate pe pământuri rare respectiv cele bazate pe titan sau zirconium.

Dat fiind faptul că aceste baterii sunt încă în fază de dezvoltare, avantajele în momentul de față ale acestor structuri de baterii sunt: energia specifică cea mai ridicată (70-95Wh/kg) și densitatea de putere cea mai mare (200-300W/kg), prietenoase cu mediul înconjurător, descărcare foarte lentă și capacitatea de încărcare foarte rapidă. Pentru moment prețul lor este un mare dezavantaj.

7.2.3. Baterile compuse cu litiu

Litiul este cel mai ușor dintre metale și prezintă o caracteristică foarte interesantă din punct de vedere electrochimic. El permite o tensiune termodinamică foarte mare, care duce automat la energie specifică mare și putere specifică mare. Există actualemente două compoziții consacrate în acest domeniu: litiu-polimer și litiu-ion.

Bateriile de litiu-polimer folosesc litiul ca metal pentru electrodul negativ și metal-oxid pentru cel pozitiv. Avantajele acestor baterii se manifestă în auto descărcare lentă, au o tensiune pe celula de 3V și energia specifică de 155Wh/kg la o putere specifică de 315W/kg. Acestea se pot realiza în orice formă sau dimensiune. Dezavantajul major al lor este faptul că ele au un comportament foarte prost la temperaturi scăzute.

Bateriile de litiu-ion au apărut în 1991, și acestea au reprezentat saltul fără precedent în domeniul surselor de stocare a energiei. Ele sunt azi viziunea de viitor în acest domeniu. Cu toate că încă sunt la faza de cercetare, ele câștigă tot mai mult teren în toate aplicațiile dar în special în domeniul VE și VEH. Acestea au tensiunea pe celulă de 4V și energia specifică de 120Wh/kg la o densitate de putere de 260W/h. Structurile bazate pe cobalt au aceste valori mai ridicate, dar și prețul lor, precum și autodescărcarea sunt mai pronunțate. Cele bazate pe mangan au prețul mai redus, iar densitatea de putere și de energie se regăsește între cele ale bateriilor bazate pe cobalt și cele bazate pe nichel.

7.3. Ultacondensatorii

Datorită frecvenței mari de oprire/pornire a VE și VEH, caracteristica de încărcare/descărcare a bateriilor este foarte variată. Puterea medie cerută de la un sistem de stocare a energiei este mult mai mică decât puterea ei de vârf, care se aplică doar la accelerare sau la urcare de deal. Raportul dintre puterea de vârf și cea medie este în general de 10:1. Defapt, energia implicată în accelerarea și decelerarea vehiculului este cca. două treimi dintr-un ciclu complet de deplasare al vehiculului. La proiectarea unui VEH, puterea de vârf a unității de stocare este mult mai importantă ceea ce duce la reglementare dimensiunilor ei. Profitând de tehnologia existentă, la proiectarea unui sistem de stocare, acesta trebuie dimensionat ca un compromis între energia specifică, puterea specifică și ciclul de viață al bateriei. Dificultatea în a

obține valori mari pentru energia specifică, puterea specifică și ciclul de viață, a dus la necesitatea hibridizării bateriei cu un al sistem de stocare. O idee a fost hibridizarea bateriilor cu pile de combustie, însă acestea nu au capacitatea de a înmagazina energie doar de a produce. Ca atare, atenția s-a îndreptat direct înspre utilizarea ultracondensatorilor.

7.3.1. Caracteristicile ultracondensatorilor

Aceștia sunt caracterizați de putere specifică mare, însă au energie specifică mică, comparativ cu bateriile. Energia lor specifică este undeva la aproximativ câțiva Wh/kg. Însă puterea lor specifică poate ajunge la 3kW/kg, ceea ce este extrem de mult comparativ cu bateriile. Datorită energiei specifice foarte mici și a dependenței tensiunii la borne cu nivelul de încărcare (SOC), este dificil a utiliza doar ultracondensatorii, ca atare ei trebuie să conlucreze într-un sistem hibrid cu baterii. Ca atare, energia specifică și puterea specifică pot acum să fie decuplate. Aceasta permite dimensionarea unei baterii care asigură optim energia specifică iar puterea specifică a sistemului fiind lăsată pe umerii ultracondensatorilor. Ca atare, la accelerări rapide, bateria poate să fie ferită supunere la curenți mari de descărcare, sau de încărcare, la frânare recuperativă, asta crescând foarte mult durata ei de viață.

7.3.2. Performanțele ultracondensatorilor

Performanțele ultracondensatorilor sunt caracterizate de tensiunea la terminale la procesele de încărcare și descărcare la diferiți curenți. Orice condensator are trei parametrii fundamentali: capacitatea proprie (adică potențialul electric V_c), rezistența serie R_s , și rezistența de scăpări a dielectricului R_L , așa cum se poate vedea în fig. 7.5.

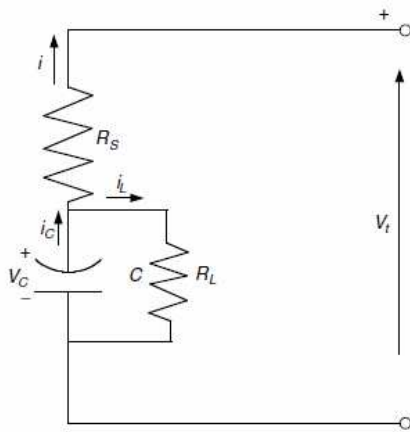


Fig. 7.5. Circuitul echivalent al unui ultracondensator

Tensiunea la bornele ultracondensatorului în perioada de descărcare poate fi exprimată ca:

$V_t = V_c - iR_s$	(7.7)
--------------------	-------

Potențialul electric al unui condensator se poate exprima ca

$\frac{dV_c}{dt} = -\left(\frac{i + i_L}{C}\right)$	(7.8)
---	-------

Unde, C este capacitatea ultracondensatorului. Pe de altă parte, curentul de scăpări poate fi exprimat:

$i_L = \frac{V_C}{R_L}$	(7.9)
-------------------------	-------

Din ecuațiile de mai sus rezultă:

$\frac{dV_C}{dt} = \frac{V_C}{CR_L} - \frac{i}{C}$	(7.10)
--	--------

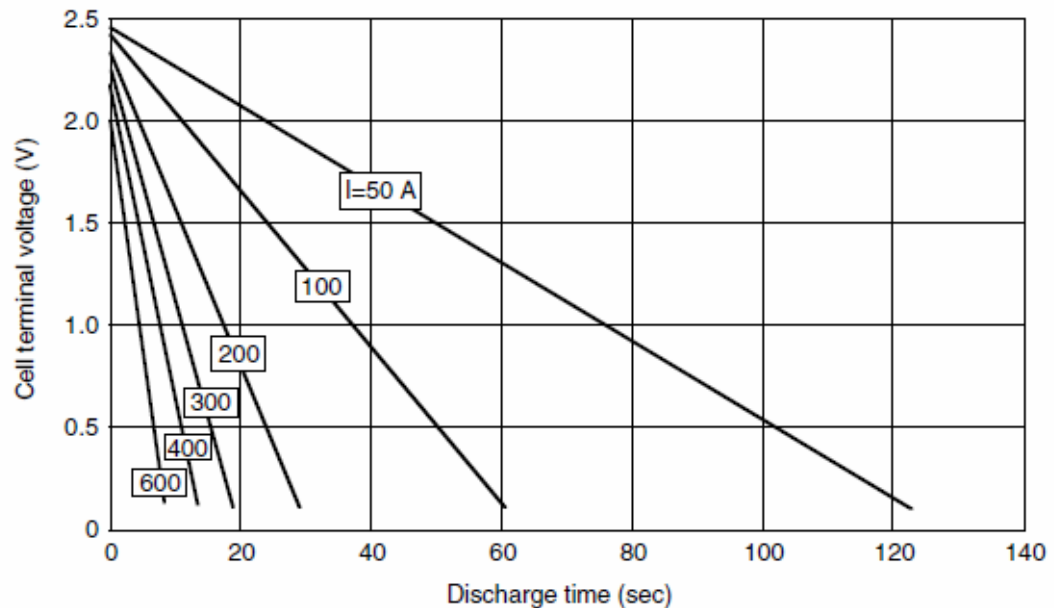


Fig. 7.6. Caracteristica de descărcare a unui ultracondensator

Tensiunea la bornele unui ultracondensator poate fi reprezentată printr-o diagramă ca cea din fig. 7.6. Soluția analitică pentru o asemenea variație este dată de ecuația:

$V_C = \left[V_{CO} \int_0^t \frac{i}{C} e^{t/CR_L} dt \right] e^{t/CR_L}$	(7.11)
---	--------

Unde i este curentul de descărcare în timp real. Se poate observa că cu cât curentul de descărcare este mai mare cu atât mai repede cade tensiunea la bornele condensatorului.

7.3.3. Tehnologia ultracondensatorilor

În acord cu perspectivele inițiate de US Department of Energy cu privire la includerea ultracondensatorilor în structura VE și VEH puterea specifică și energia specifică trebuie să fie peste 5Wh/kg respectiv 500W/kg, iar pentru variantele de viitor se prevăd valori de 15Wh/kg și 1600W/kg. Până în momentul de față nu există ultracondensatori care să poată îndeplini niciuna din aceste valori. Totuși, la nivel mondial există multe companii care sunt activ implicate în cercetare și dezvoltarea acestei tehnologii. Maxwell Technologies a anunțat deja producerea BOOTSCAP,

ultracondensatori care au 2600F la 2,5V și modulele integrate de 145F la 42V respectiv 435F la 14V.

7.4. Volantele de viteză foarte mare

Utilizarea volantelor pentru captarea energiei mecanice nu este un concept nou. Acum mai bine de 25 de ani Oerlikon Engineering Company din Elveția a realizat primul autobuz propulsat cu ajutorul unei volante foarte mari. Aceasta avea aprox. 1500kg și 3000rpm, era încărcată cu energie la fiecare oprire a autobuzului. Volanta tradițională este un disc metalic plin, de greutate mare care este rotit la viteze mari pentru a capta energia mecanică. Pe de altă parte, volantele moderne sunt ușoare, realizate din materiale compozite, având abia câteva zeci de kg și ating viteze de până la 10000rpm. Acestea sunt numite volante de viteze foarte mari.

Conceptul acestora apare a fi fezabil în special în domeniul VE și VEH unde motoarele de propulsie sunt produse pentru turații mari.

Principiul de operare al volantelor este bazat pe stocarea energiei cinetice a maselor aflate în mișcare. Eficientizarea unei volante se poate realiza prin creșterea turației ei și scăderea greutății. Azi în acest aspect se fac cercetări pentru a include optim volantele în sistemele de propulsie electrice.

7.5. Hibridizarea sistemelor de stocare a energiei

Conceptul de hibridizare se referă la interconectarea diferitelor tipuri de unități de stocare a energiei pentru a conlucra în vederea obținerii eficienței maxime globale. De exemplu, hibridizarea unei baterii chimice cu ultracondensatorii poate rezolva problema puterii specifice mici a bateriei și cea a energiei specifice mici a ultracondensatorilor. Un asemenea sistem hibrid atinge puteri și energii specifice suficient de mari pentru a mulțumi toate necesitățile unui vehicul.

Cu alte cuvinte, un sistem hibrid este compus dintr-o unitate care are putere specifică mare și una care are energie specifică mare. Conceptul de funcționare a unui asemenea sistem este ilustrat în fig. 7.7. Atunci când se necesită putere mare, de exemplu la accelerare bruscă sau urcare la deal, ambele surse vor livra putere către sarcină (fig. 7.7a). Pe de altă parte, atunci când se cere putere mică, cum ar fi la funcționare la viteză constantă, sursa cu energie specifică mare va livra puterea cerută la sarcină, și va încărca sursa care are putere specifică mare, pentru a readuce la locul ei puterea consumată la demararea bruscă (fig. 7.7b). În caz de frânare recuperativă, puterea de vârf va fi absorbită de sursa cu putere specifică mare și doar o parte limitată va fi absorbită de sursa cu energie specifică mare. În acest fel, global, sistemul va fi mai ușor decât dacă el ar fi fost realizat dintr-o singură sursă de stocare.

Dacă ne bazăm pe tehnologiile existente, se pot realiza multe tipuri de sisteme hibride pentru VE și VEH, în general cea mai utilizată fiind combinația dintre baterie și ultracondensatori. Ultima variantă este mult mai naturală cum ultracondensatorii oferă putere mult mai mare decât bateriile. Varianta cea mai simplă de conectare a bateriei cu ultracondensatorii este direct în paralel (fig. 7.8). Problema cu această variantă este faptul că puterea nu poate fi direct controlată pe fiecare unitate de stocare.

O altă variantă este prezentată în fig. 7.9 unde se intercalează între cele două surse de putere un convertor CC-CC bidirecțional. Acesta permite ca bateriile și ultracondensatorii să aibă tensiuni diferite iar vehiculația de putere să poată fi controlată independent pe oricare din cele două ramuri.

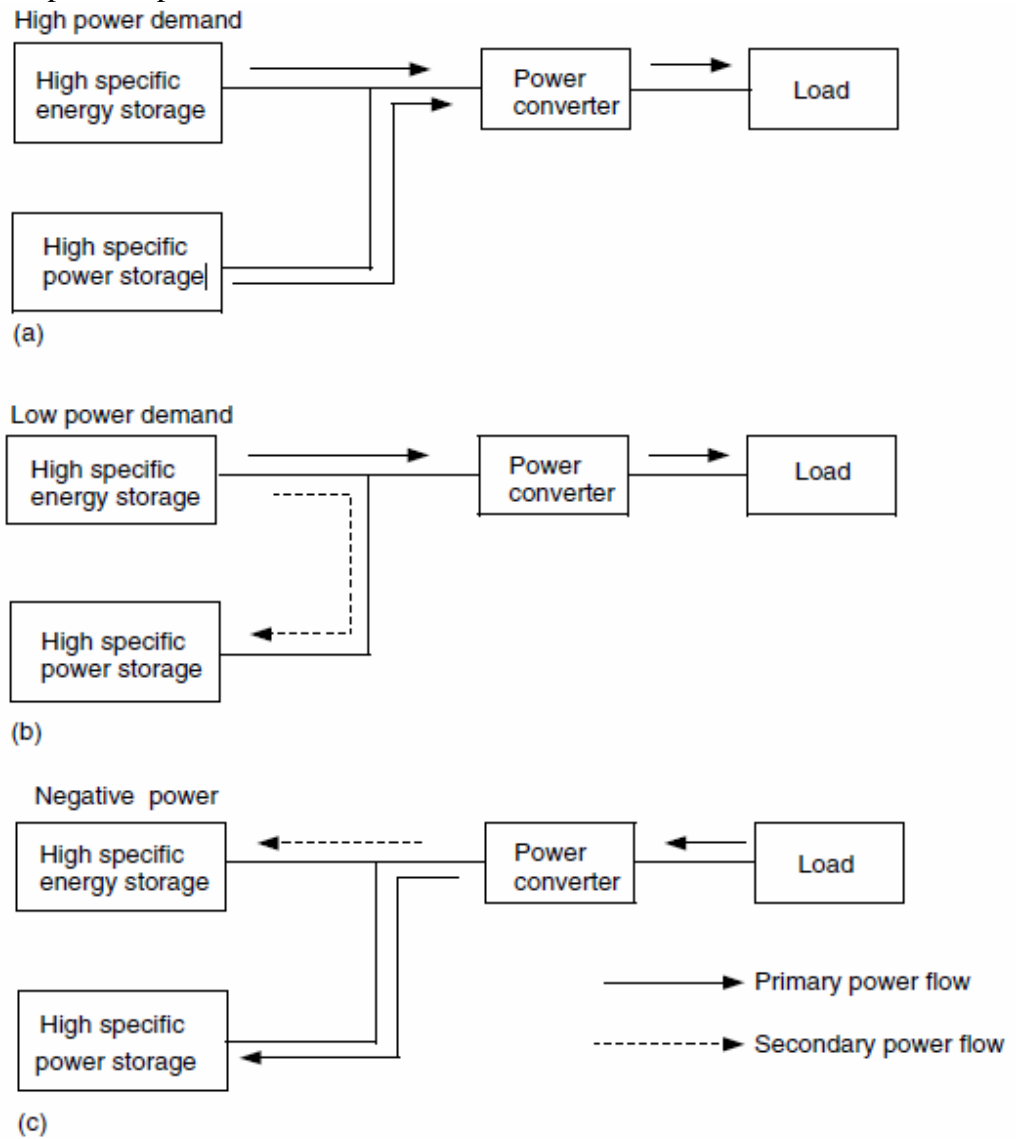


Fig. 7.7. Conceptul de hibridizare a unei unități de stocare a energiei

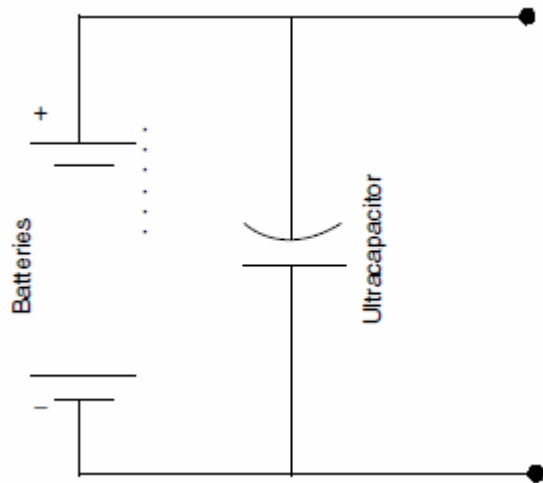


Fig. 7.8. Hibridizarea a unei baterii cu ultracondensatori

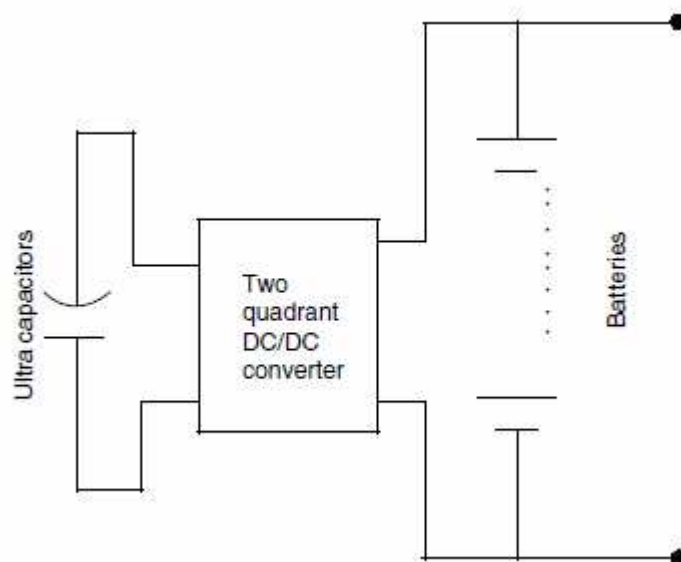


Fig. 7.9. Hibridizarea a unei baterii cu ultracondensatori