

Sistemul de management al energiei pe un Vehicul Electric Hibrid.

La bordul unui vehicul electric hibrid se pot afla mai multe surse de înmagazinare a energiei. Dacă ne referim la un vehicul electric hibrid, ca unul care folosește pentru propulsie un motor termic și unul electric (variantele cea mai des întâlnită și studiată), atunci pe lângă combustibilul fosil care este folosit ca sursă de energie pentru motorul termic, trebuie asigurată și energia pentru propulsia electrică. În general, când vorbim despre managementul sursei de energie ne referim mai mult la gestionarea și estimarea energiei electrice disponibile la bordul vehiculului, energie înmagazinată în diferite surse de stocare reversibile.

Managementul energiei este un element esențial în implementarea controlului pe un vehicul electric hibrid, întrucât dimensiunea și tipul sursei de energie electrică poate influența strategia de control ce poate fi implementată: cu refacerea și menținerea stării de încărcare (Charge Sustaining) sau cu descărcarea continuă a bateriei (Charge Depletion).

1. Surse de înmagazinare a energiei la bordul vehiculului

Pentru asigurarea energiei electrice necesară propulsiei unui vehicul electric hibrid se pot folosi diverse surse de stocare a energiei, în funcție de cerințele de funcționare impuse și de caracteristicile acestora. Sursele cele mai utilizate sunt: bateriile, supercondensatorii și pilele de combustie.

1.1. Baterii

Bateriile sunt surse electrochimice care convertesc energia electrică în energie electrochimică în timpul încărcării și energia electrochimică în energie electrică în timpul descărcării. Din punct de vedere a conversiei energiei, pot fi baterii primare și baterii secundare. Bateriile primare numite și pile galvanice au un singur ciclu de folosire, ele permit doar conversia energiei electrochimice în energie electrică. Bateriile secundare numite și acumulatori, permit ambele conversii ale energiei și permit un anumit număr de cicluri de funcționare [5],[6].

La ora actuală se cunosc mai multe tipuri de baterii de tracțiune. Ele includ baterii cu electrolit lichid, solid sau gazos, cu reformarea sau înlocuirea metalului, sau cu înlocuirea electrolitului. Deși există aproximativ 20 tipuri de baterii distincte cu utilizare posibilă în propulsia vehiculelor electrice hibride, ceea ce pare promițător pentru celule sau baterii de mici

dimensiuni se dovedește dezavantajos sau impracticabil atunci când se mărește la scala necesară tracțiunii.

În prezent, tipurile cele mai utilizabile pentru tracțiune electrică sunt reprezentate de bateriile alcaline cu hidruri metalice-nichel (NiMH), sau nichel-cadmium, de bateriile cu Litiu-Polimer, Litiu-Ion la care se adaugă bine-cunoscutele baterii de acumulatori cu plumb. Mai multe tipuri de baterii printre care cele cu natriu-sulf și cele cu bisulfură de sodiu au fost abandonate din punct de vedere al utilizării în tracțiune, date fiind o serie de probleme legate de randamentul de funcționare și de cost.

Caracteristicile principale ale unei baterii sunt tensiunea pe celulă și capacitatea bateriei exprimată în [Ah]. Tensiunea pe celulă reprezintă tensiunea regăsită la bornele celulei și este diferită de la o baterie la alta în funcție de tipul de celulă pe care îl folosește, putând lua valori între 1V și 4V. Principial, o celulă este alcătuită din doi electrozi (anod și catod) și un electrolit ce are rolul de a asigura închiderea circuitului electric în baterie. Deoarece tensiunea unei celule de baterie este mică, în practică, o baterie se obține prin inserierea mai multor celule de același tip. Așa că termenul de celulă, se referă strict doar la o celulă, pe când prin termenul de baterie se înțelege o grupare de celule conectate în serie.

Capacitatea bateriei reprezintă energia electrică pe care o poate asigura bateria în anumite condiții. Ea se exprimă în [Ah] și este dată de relația:

$$C = \int_0^t I_d \cdot dt \text{ [Ah]} \quad (1)$$

unde I_d reprezintă curentul de descărcare, iar t durata descărcării. Teoretic o baterie cu o capacitate de 40Ah, poate furniza energie la un curent constant de descărcare de 40A timp de o ora. Legat de capacitatea bateriei se definește și rata de descărcare, cu scopul de a generaliza anumite regimuri de funcționare ale bateriilor. Astfel că printr-o rată de descărcare de 1C pentru o baterie cu o capacitate de 1C se înțelege o descărcare la un curent de 40A.

Pentru a estima energia disponibilă la un moment dat pe o baterie, lucru foarte important în gestionarea energiei pe un vehicul, se definește așa numita stare de încărcare (state of charge, SOC), care se exprimă în procente, și este dată de relația:

$$SOC = \left[\frac{\text{Capacitatea Disponibila [Ah]}}{\text{Capacitatea Nominala [Ah]}} \right] \cdot 100. [\%]. \quad (2)$$

unde capacitatea nominală face referire la capacitatea inițială a bateriei și nu la capacitatea la care a fost încărcată ultima dată bateria. De remarcat că pe măsura folosirii o baterie nu mai ajunge niciodată să fie încărcată la capacitatea ei nominală datorită fenomenului de îmbătrânire, astfel că spre sfârșitul duratei de viață ea poate ajunge la un SOC de 80%, la o încărcare completă.

Un alt parametru ce este legat oarecum de starea de încărcare este gradul (adâncimea) de descărcare (Depth of Discharge – DOD) și face referire la procentul de energie scos din baterie la fiecare descărcare.

Durata de viață a bateriilor este exprimată în cicli compleți de descărcare/încărcare a bateriei până când capacitatea bateriei scade la 80% (bateria nu mai poate acumula energie mai mult de 80% din valoarea pe care o putea înmagazina la început). Chiar și după ce capacitatea unei baterii scade sub 80% ea poate fi folosită în continuare. Prin urmare nu se poate vorbi despre o moarte bruscă a bateriilor. De asemenea folosirea bateriilor la un DOD mai mic face posibilă creșterea duratei de viață a bateriilor. Cu toate acestea sunt unele baterii, ca cele pe NiCd și NiMH, ce necesită periodic o descărcare completă pentru a elimina efectul de memorie, care contribuie la scurtarea duratei de viață.

Dacă bateriile nu sunt folosite corespunzător modului de lucru pentru care au fost proiectate, pot ajunge la o îmbătrânire prematură. În general bateriile proiectate pentru tracțiune sunt capabile să funcționeze la DOD foarte mare, între 80%-100%, pe când bateriile tip starter, folosite pentru pornire, sunt capabile să furnizeze curenți mari dar ele pot fi folosite la DOD mult mai scăzut, sub 50%.

Pentru a estima eficiența bateriei pe parcursul duratei de viață se folosește un alt parametru, ce face referire la capacitatea inițială a bateriei și dă informații despre starea de „sănătate” (State of Health – SOH [%]). SOH poate fi determinată prin măsurarea parametrilor ce se modifică odată cu trecerea timpului și cu folosirea bateriei, cum sunt rezistența internă sau impedanța internă a bateriei.

1.2. Supercondensatori

Pentru a îmbunătăți performanțele bateriilor în paralel cu acumuloarele se folosesc și așa numitele baterii de supercondensatoare. Acestea se remarcă prin posibilitatea de a furniza și a recupera puteri instantanee ridicate ceea ce vine oarecum în compensarea dezavantajelor bateriilor, care au timp lent de răspuns la solicitările de vârf (acceleații, frânări, porniri la rece, regimuri start-stop).

Supercondensatorii oferă capacități de câteva mii de farazi, putând să elibereze cantități importante de energie în timpi de ordinul secundelor și poate avea durata de viață de câteva sute de mii de cicli de funcționare la un randament ridicat. Datorită puterii instantanee ridicate și a curenților de ordinul sutelor de amperi, ei pot constitui o alternativă complementară sistemului de acumulatori, putând prelua cu ușurință solicitările de vârf de sarcină ale vehiculului.

La baza construcției supercondensatorului se află structura dublu strat, principiu descoperit din anul 1879 de către Helmholtz, dar care a putut fi pus în practică în ultimii ani. Tensiunea unui astfel de condensator este în general mică.

1.3. Pile de combustie

Pila de combustie reprezintă un dispozitiv care este capabil să transforme direct energia unui combustibil, cum ar fi metanol, hidrogen, gazolină, în energie electrică fără a fi nevoie de arderea sau conversia acestuia mai întâi în energie mecanică. Dacă se folosește drept combustibil hidrogen în stare pură, teoretic în urma conversiei va rezulta energie electrică și apă. Principiul de funcționare în variantă simplificată a unei pile de combustie pe bază de hidrogen este dată în fig. 1.

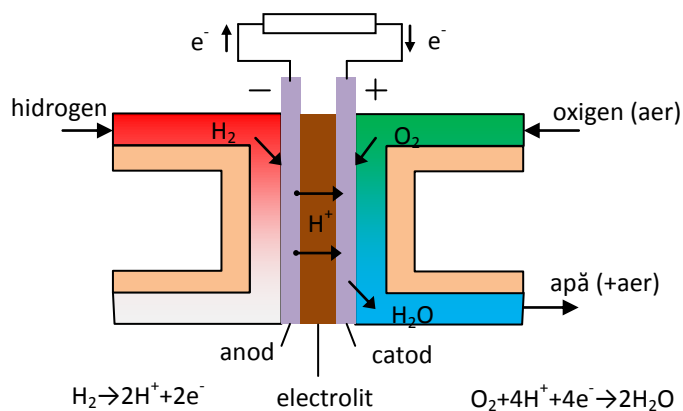


Fig. 1. Schema de principiu a unei pile de combustie pe hidrogen

Tensiunea ce se poate obține pe o celulă este de 0,6-1,2[V], în funcție de tipul pilei. De asemenea randamentul total al pilei de combustie poate fi cuprins între 20% -31% în funcție de sistemul utilizat, randament ce este mai mare decât cel al unui vehicul convențional cu motor termic (circa 18%).

Pila de combustie este alcătuită în general din doi electrozi, anod și catod, separați de o membrană permisivă, la nivelul căreia are loc oxidarea (schimbul de protoni) și un electrolit. Oxigenul poate fi luat din aer prin intermediul unei prize de aer și este adus la catod, iar hidrogenul fie se obține din metanol, gazolină sau alți compuși chimici, fie este înmagazinat sub formă de hidrogen pur și este adus la anod. Hidrogenul este un combustibil care prin ardere este aproape lipsit de emisii poluante și are o densitate de energie pe unitatea de masă de 120 kJ/g.

Cu toate că pilele de combustie oferă avantajul unei conversii ecologice și silențioase, fără elemente aflate în mișcare, această soluție se pare să fie una de viitor, deși sunt anumite constrângeri. În primul rând este vorba de probleme de siguranță și probleme de infrastructură, de producere, depozitare și de stocare a hidrogenului la bordul vehiculului. De asemenea soluția care să crească randamentul și să folosească toate avantajele aduse de pilele de combustie este destul de costisitoare.

2. Sistemul de management al bateriei

Un aspect important în determinarea stării de încărcare a bateriilor îl reprezintă monitorizarea și supravegherea tensiunii pe fiecare celulă a bateriei, întrucât măsura tensiunii reprezintă o informație necesară în determinarea stării de încărcare, așa cum am amintit în paragraful anterior. Tensiunea pe celulă este în general mică (pana la cel mult 4V). Pentru a putea înmagazina energia necesară propulsiei, pachetul de baterii este alcătuit în general din mai multe celule înseriate. Celulele astfel înseriate ce alcătuiesc sistemul de stocare a energiei la bordul vehiculului pot avea diferite stări de încărcare în momentul integrării lor în sistem. De asemenea pot avea și mici diferențe din punct de vedere al construcției (nu sunt identice, chiar dacă sunt de același tip), diferențe ce după mai mulți cicli de funcționare încep să fie tot mai evidente.

Pentru a lungi durata de viață a bateriilor și pentru a evita distrugerea lor (care uneori poate fi periculoasă) este nevoie să fie monitorizată tensiunea pe fiecare baterie (celulă) în parte

cât și echilibrarea lor din punct de vedere al stării de încărcare. Aceste sarcini revin sistemului de management al bateriilor, ce are rolul de a determina starea de încărcare a bateriilor și de a transmite, în orice moment, unității electronice de comandă și control a vehiculului informații referitoare la energia disponibilă (stocată) la bordul vehiculului.

2.1. Metode de echilibrare a tensiunii bateriilor (celulelor)

Problemele legate de dezechilibrele tensiunii celulelor sunt mult mai evidente la cicluri scurte de încărcare și descărcare rapidă, specifice în general vehiculelor electrice hibride. Există mai multe posibilități de egalizare a tensiunii celulelor.

O primă metodă ce se bazează pe așa numita echilibrare naturală, ce are la bază faptul că unele celule, pot rezista pentru anumite perioade de timp la supratensiuni. În acest fel printr-o încărcare prelungită, celulele care sunt complet încărcate vor începe să emane gaze, până când vor ajunge și celelalte celule să fie complet încărcate. Acest lucru este permis de bateriile pe bază de Pb–Acid și NiMH, dar este inadmisibil pentru cele cu litium, la care o supratensiune a celulei va duce la distrugerea ireversibilă a ei (poate chiar arderea ei).

Egalizarea tensiunii are rolul de a preveni mari dezechilibre pe termen lung mai degrabă decât mici variații ale tensiunii pe perioade scurte de timp. De asemenea pentru a micșora efectele ce pot duce la creșterea dezechilibrelor de tensiune pe perioada funcționării, trebuie urmărite anumite condiții la nivel de proiectare a bateriilor.

O metodă de echilibrare a tensiunilor așa cum este ilustrată și în figura 2. folosește ca principiu egalizarea disipativă a celulelor care sunt la un nivel mai ridicat de tensiune. Prin intermediul unui tranzistor la bornele fiecărei celule în parte este conectată o rezistență pentru a realiza echilibrarea tensiunii celulelor. Controlul tranzistoarelor se face de către un sistem de control care are rolul de a supraveghea tensiunea fiecărei celule astfel încât să realizeze echilibrarea lor pe perioada încărcării.

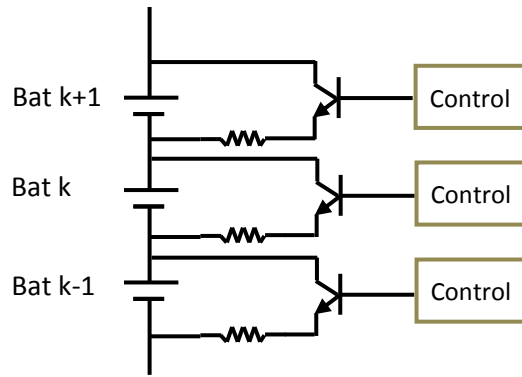


Fig. 2. Principiul de lucru al metodei de egalizare disipativă

Avantajul acestei metode este dat de simplitatea metodei și prețul de cost redus, în schimb curentul de egalizare a celulelor este foarte limitat.

O altă metodă de egalizare, folosește un inductor în locul rezistenței. În acest fel energia care se află pe celulele mai încărcate este transferată către celulele vecine mai descărcate prin intermediul unei inductanțe, așa cum se poate vedea și în figura 3. Avantajul acestei metode este dat de faptul că valorile curenților de egalizare pot fi ridicate, fără a mai avea loc degajări mari de căldură în exterior, comparativ cu metoda anterioară.

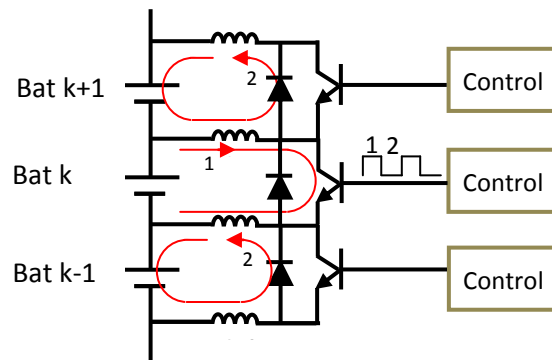


Fig. 3. Principiul de lucru al metodei de egalizare folosind inductanță

Controlul tranzistorului de data aceasta se face cu semnale PWM. Atunci când un tranzistor este deschis, curentul se închide pe traseul 1, iar în momentul când acesta este blocat, energia acumulată de inductanță este cedată celulelor vecine.

Principalul dezavantaj al acestei metode este dat de complexitatea sistemului și faptul că celula de baterie este comparată cu vecinii săi și nu cu o valoare stabilită.

În fig. 4. este prezentată o metodă care folosește pentru echilibrare condensatori, ce sunt conectați succesiv la bornele a două baterii, în felul acesta el se încarcă de la celulele cu tensiune mai mare și se descarcă pe cele cu tensiune mai mică.

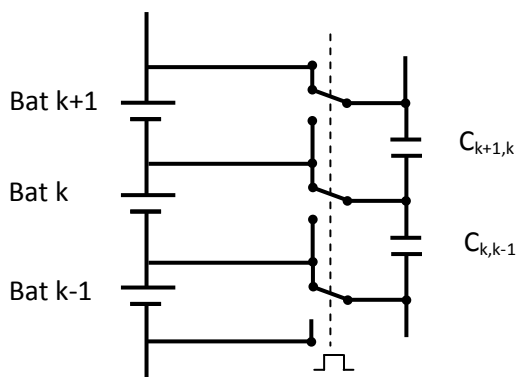


Fig. 4. Principiul de lucru al metodei de egalizare folosind condensatori

Metoda este relativ complexă și nu va permite curenți de echilibrare de valori ridicate (echilibrarea se face mai lent), în schimb metoda de control este foarte simplă. Cu toate acestea nu se va ajunge la o echilibrare completă a tensiunii pe celulă datorită caracteristicii exponențiale de încărcare și descărcare a condensatorului. Circuitul poate fi simplificat prin folosirea unui singur condensator ce este conectat prin rotație la un anumit număr de celule de baterie, prin intermediul unui multiplexor.

O altă metodă de egalizare a celulelor poate fi folosind câte un încărcător individual pentru fiecare celulă în parte, metodă ce este foarte complexă și costisitoare. Există mai multe topologii ce pot fi folosite pentru sisteme de egalizare și monitorizare a tensiunii celulelor: sistem centralizat, parțial centralizat, modular și sistem în arhitectură master-slave.

2.2. Determinarea stării de încărcare a bateriilor (SOC)

Sistemul de management al energiei este cel care ne dă informații despre starea de încărcare a surselor de înmagazinare a energiei folosite pe vehiculele electrice hibride. Determinarea stării de încărcare a bateriilor, este foarte importantă din cel puțin două motive: pentru a avea în orice moment informații despre cantitatea de energie disponibilă la bordul vehiculului și pentru a folosi bateriile în zona de eficiență maximă (durata de viață maximă). În

funcție de starea de încărcare a bateriilor se aplică strategia de control astfel ca vehiculul să asigure performanțele cerute. În funcție de tipul de baterii ales, metoda de determinare a stării de încărcare diferă în anumite situații. La ora actuala sunt cercetate diferite metode de estimare a stării de încărcare a bateriilor, unele generale, iar altele specifice unui anumit tip de baterii. Sunt metode bazate pe filtre Kalman, modele matematice, circuite echivalente ale bateriilor utilizând combinații de condensatoare și rezistențe cu diferite valori și rețele neuronale. Cu toate acestea în practica se urmărește implementarea unor soluții cât mai simple, efort de calcul cât mai mic și care să măsoare totuși starea de încărcare a bateriei cât mai bine.

Deoarece bateriile utilizate pe vehiculele electrice hibride au parte de diferite regimuri de încărcare și descărcare, în estimarea stării de încărcare va trebui să ținem cont de aceste regimuri „grele”.

Regimurile ce pot fi întâlnite pe o baterie folosită pe un vehicul electric în funcție de cerințele ce apar pe vehicul pot fi împărțite în: încărcare la curent constant, relaxare în urma încărcării, încărcare la curent variabil (cazul frânării recuperative), descărcare la curent constant, relaxare după încărcare, descărcare la curent variabil, descărcare la demararea brusca (cracking).

O buna estimare a stării de încărcare este data de măsura tensiunii la bornele bateriei sau măsura densității electrolitului din baterie, dar în condițiile în care aceasta se afla în regim stabilizat (bateria este considerată relaxată). O baterie se consideră relaxată după o perioadă de timp în care a avut loc echilibrarea reacțiilor chimice din interior. Aceasta perioadă diferită de regimul avut de baterie înainte, încărcare sau descărcare și durata regimului. O relaxare completa în urma unei descărcări, poate fi considerată abia după 8 ore, în schimb în urma unei încărcări, o relaxare completa poate fi considerate după 48 de ore.

Dintre metodele de estimare cele mai întâlnite sunt: metoda măsurării tensiunii în circuit deschis, metoda măsurării densității electrolitului, metoda integralei de curent, metoda măsurării impedanței și metoda circuitului echivalent.

Măsurarea densității electrolitului (la bateriile cu electrolit) constă în măsurarea concentrației de acid din electrolit, întrucât densitatea scade odată cu starea de descărcare a bateriei. Nu este o metoda practica, unele baterii fiind capsulate și astfel nu se poate avea acces la electrolit. Necesita un timp destul de mare pentru stabilizarea proceselor electro-chimice, ca rezultatele sa fie corecte.

Măsurarea tensiunii în circuit deschis la bornele bateriei arată cu bună precizie starea de încărcare a bateriei, dar de asemenea după o perioadă de stabilizare suficient de lungă. În general producătorii sunt cei care dau informații legate de starea de încărcare a bateriei în funcție de densitatea electrolitului sau tensiunea la borne. De remarcat că după încărcare, densitatea electrolitului crește până se stabilizează la o anumită valoare, iar tensiunea la borne scade până ajunge la o valoare stabilă. Între starea de încărcare a bateriei și tensiunea la borne există o dependență liniară dată de relația

$$V_{oc} = a \cdot SOC(t) + b \quad (3)$$

Dacă pentru un anumit tip de baterie nu se cunosc valorile tensiunii la borne în funcție de starea de încărcare a ei, acestea se pot determina experimental. Pentru aceasta trebuie ținut cont de evoluția tensiunea la borne la o descărcare constantă. După cum se poate observa și în figura 5 o baterie se consideră complet descărcată în momentul în care valoarea tensiunii la borne își schimbă panta de descreștere (punctul A din fig. 5.), deși ea mai poate furniza energie.

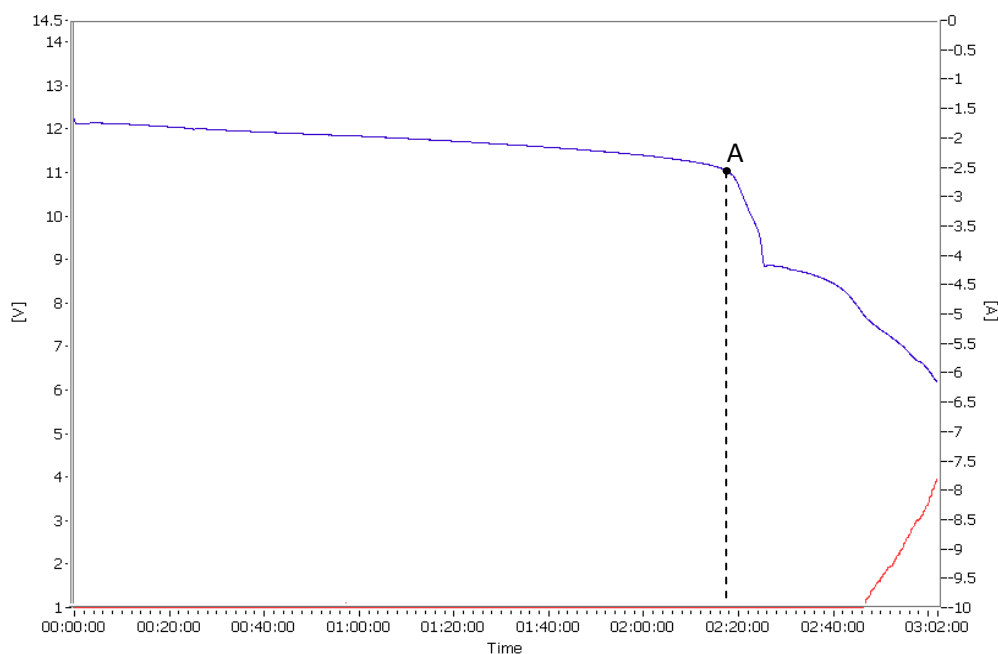


Fig. 5. – Comportarea bateriilor pe Pb-Acid la o descărcare completă.

O baterie poate fi considerată complet încărcată în momentul în care, tensiunea la borne este păstrată constantă (la valoarea maximă admisă la încărcare) iar curentul rămâne constant în timp (este un curent rezidual, care se disipă pe rezistența internă a bateriei).

Metoda integralei de curent presupune monitorizarea curentului de încărcare și descărcare a bateriei, pe baza căruia se poate estima cantitatea de energie ce a fost consumată sau acumulată de baterie. Această metodă este folosită pentru estimarea energiei consumate sau încărcate în acumulatori pe durata regimurilor dinamice ale vehiculelor electrice. Totuși aceasta metoda este afectată de erori ce se acumulează în timp și sunt determinate de:

- gradul de încărcare al bateriei,
- curentul de descărcare sau încărcare,
- temperatura de lucru a bateriei,
- îmbătrânirea bateriei (starea de sănătate SOH).

Pentru a micșora erorile de estimare trebuie ținut cont de toți factorii care le influențează. În acest scop în se adaugă un factor de corecție la valoarea curentului de încărcare sau descărcare, factor ce depinde de valoarea curentului și de semnul acestuia.

Starea de încărcare a unui acumulator prin aceasta metoda este dată de relația :

$$SOC(t) = \frac{SOC(t_0) + \int_{t_0}^t i \cdot dt}{Capacitate\ a\ No\ min\ ala} \cdot 100 \quad (4)$$

unde: $SOC(t_0)$ – valoarea inițială a stării de încărcare

i – curentul prin baterie

Impedanța bateriei (sau rezistența internă) este un parametru ce urmărește cu o bună precizie starea de încărcare a bateriei și care dă informații și despre starea de sănătate a bateriei (SOH). O baterie se deteriorează odată cu scurgerea timpului și cu utilizarea ei iar rezistența internă a bateriei începe să crească în timp ce capacitatea bateriei descrește. Studiile realizate arată o corelație între rezistența internă și capacitate. De asemenea în determinarea stării de încărcare a bateriei trebuie ținut cont și de starea de sănătate a bateriei.

Cercetările făcute arată o dependență directă între rezistența internă și starea de încărcare a bateriei. Rezistența internă a bateriei poate fi măsurată pe baza relației (5) și numai în anumite

condiții. Pentru a avea o măsură cât mai puțin afectată de erori trebuie ca $di/dt \geq 30A/ms$, condiții ce nu sunt întâlnite prea des în funcționarea vehiculului.

$$R_{int} = \frac{dv}{di} \quad (5)$$

Metoda circuitului echivalent presupune modelarea bateriei cu un circuit echivalent realizat cu rezistente și condensatoare astfel încât să reprezinte cât mai bine comportarea bateriei în regimuri dinamice. Cel mai folosit model al bateriei este modelul Thevenin, care este arătat în fig. 6. cu linie continuă, la care eventual se adaugă o rezistență, R_d , în paralel cu bateria pentru a modela și autodescărcarea bateriei în timp.

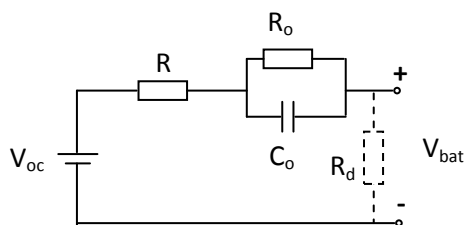


Fig.6. – Modelul Thevenin al bateriilor

În estimarea stării de încărcare pe baza măsurii în circuit deschis a tensiunii la bornele bateriei trebuie ținut cont de regimul de încărcare sau descărcare avut anterior pentru a încerca apoi să se facă o estimare a stării de încărcare. Dacă se folosește un model echivalent al bateriei, se poate face o identificare a parametrilor acestora, folosind o metodă de estimare pe baza răspunsului tensiunii la relaxare (care poate fi ca cel din fig. 7), după care se poate estima cu bună precizie evoluția valorii tensiunii la borne a bateriei, pe baza căreia apoi se face estimarea stării de încărcare, fără a mai aștepta acel timp necesar relaxării, fiind suficient doar 2 minute pt. estimarea SOC-ului cu o eroare mai mica de 3%.

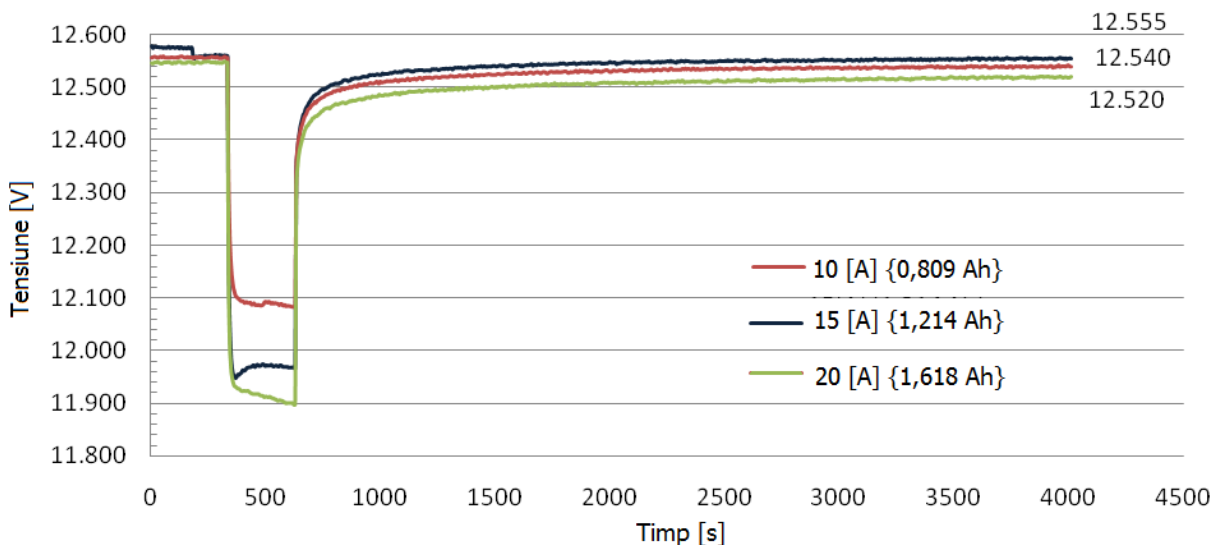


Fig.7 – Tensiunea la bornele unei baterii în timpul descărcării la curenți constanți și în timpul relaxării.

Deoarece regimul de funcționare al bateriilor folosite pe vehiculele electrice și hibride este mult mai „greu”, decât în oricare alte aplicații ce folosesc bateriile ca sisteme de stocare a energiei, determinarea stării de încărcare a bateriilor se poate face cel mai bine prin combinarea corespunzătoare a mai multor metode, în funcție de regimul de funcționare întâlnit. Cu toate acestea, tensiunea la borne a bateriei rămâne un reper de bază în determinarea stării de încărcare a bateriilor în perioada repaus.

În fig. 8. se poate observa evoluția tensiunii la borne corespunzătoare unei baterii pe Pb – Acid, dintr-un pachet de 25 de baterii a unui sistem de stocare a energiei de pe un vehicul electric hibrid. Datele au fost luate de pe un stand realizat pentru încercarea bateriilor, iar valoarea corespunzătoare a curentului impusă bateriei a fost luată pentru un ciclu de funcționare în mediu urban (UDDS), din programul de simulare Advisor.

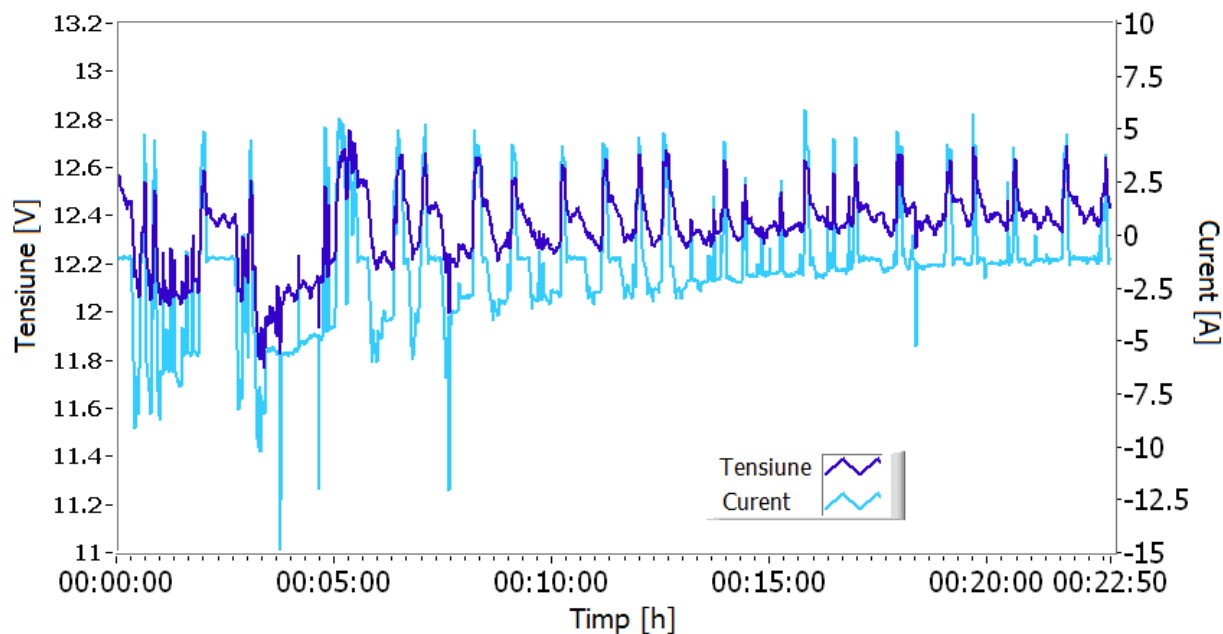


Fig.8. – Tensiunea la bornele unei baterii în timpul funcționării pe un VEH.

Determinarea stării de încărcare a bateriilor revine sistemului de management al acestora, ce are rolul de a măsura tensiunea pe fiecare baterie în parte și apoi să estimeze starea de încărcare a bateriilor.

2.3. Sistemul de monitorizare a tensiunii celulelor de baterie

Pentru o estimare corectă și precisă a stării de încărcare, sistemul de management al bateriilor trebuie să aibă informații referitoare la tensiunea bateriilor, curentul de încărcare, și eventual temperatura lor. Este foarte important ca tensiunea să fie monitorizată pe fiecare celulă în parte, deoarece o valoare totală a tensiunii pachetului de baterii nu oferă o informație sigură referitoare la starea de încărcare a bateriilor. De asemenea nerespectarea tensiunilor recomandate la încărcare pe fiecare celulă poate scurta durata de viață a întregului sistem de stocare a energiei sau chiar distrugerea lui.

Dea lungul timpului au fost propuse diverse metode de măsurare a tensiunii pe fiecare celulă de baterie.

Metoda folosită pentru monitorizarea tensiunii la bornele bateriilor este prezentată în continuare, și se face prin conectarea succesivă a fiecărei baterii la o așa numită rețea de DC. După cum se poate observa și în figura 9, există două posibilități de conectare a bateriilor la

rețeaua DC. Potențialul acestei rețele de măsură poate ajunge la valori de 300V față de masa de forță, atunci când este măsurată tensiunea ultimei baterii din sistem.

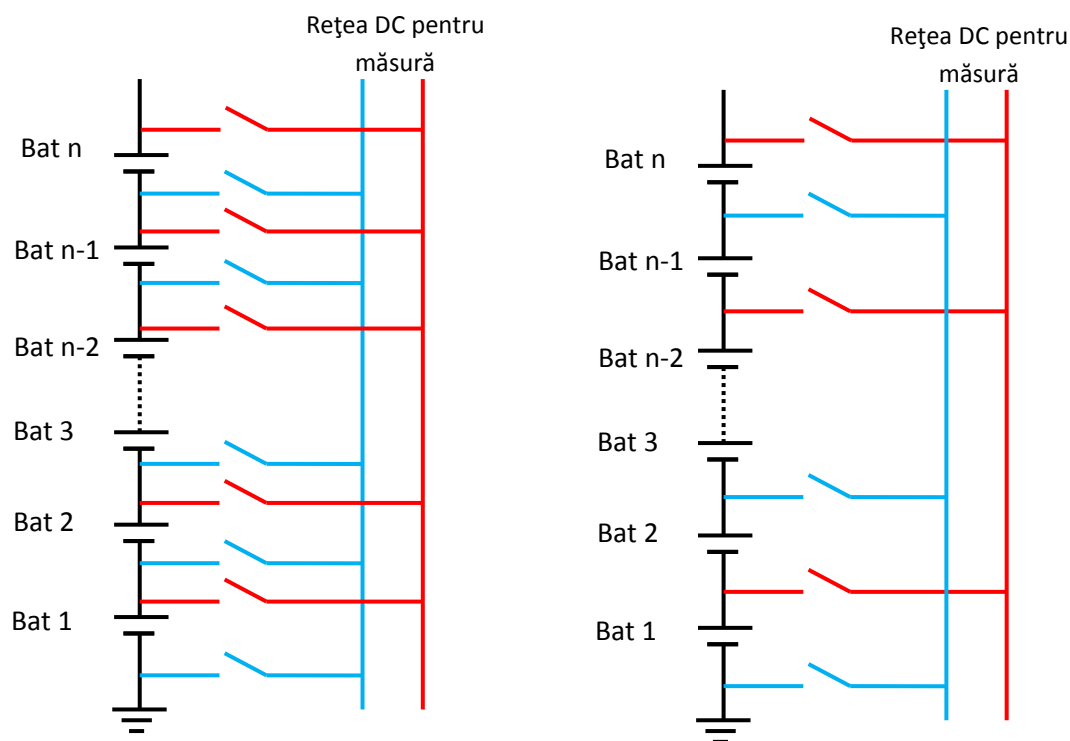


Fig. 9. Posibilități de conectare a bateriilor la rețeaua de DC pentru măsură

În cazul prezentat în figura 9.a, fiecare baterie este conectată pe rând la rețeaua de măsură, iar tensiunea pe această rețea este unipolară. Dezavantajul acestei structuri este dat de prețul de cost ridicat datorită numărului mare de comutatoare ce este folosit pentru conectarea bateriilor la sistemul de măsură. Structura din fig. 9.b. are avantajul folosirii a cat mai puține comutatoare, iar tensiunea măsurată este bipolară, ceea ce necesită o scalare și translatare corespunzătoare a semnalelor măsurate. De data aceasta însă scade rezoluția de măsură a tensiunii.

În cazul sistemelor de monitorizare a tensiunii, o condiție necesară pentru aceste comutatoare este timpul lor de răspuns, deoarece fiecare celulă în parte trebuie să fie măsurată cu o viteză corespunzătoare dinamicii tensiunii la bornele celulei. Un astfel de sistem trebuie să asigure măsurarea tensiunii de cel puțin câteva ori pe secundă pentru fiecare celulă în parte.

Comutatoarele folosite pentru conectarea fiecărei baterii la sistemul de măsură sunt niște circuite specializate AQW214S (Photomosfet Relay). Schema de principiu a acestor circuite este arătată în fig. 10 de mai jos.

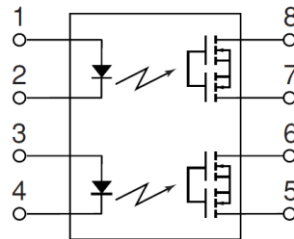


Fig. 10. Reprezentarea schematică circuitului

Circuitele pot lucra în condiții normale până la 400V și permit de asemenea funcționarea și în curent alternativ. Curentul maxim acceptat este de 120mA pe circuit. Varianta folosită are două astfel de circuite încapsulate pe un integrat tip SMD. Separarea galvanică garantată este de până la 1500V și este asigurată prin acele leduri încorporate. Timpul maxim de deschidere și închidere a mosfet-urilor este de 0,5ms și respectiv 0,2 ms, la un curent de led de 5mA.

Schema de principiu folosită pentru monitorizarea tensiunii pe fiecare din cele 24 de baterii cu Pb – Acid de pe standul de vehicul electric hibrid este prezentată în fig. 11, unde este evidențiată separarea galvanică asigurată sistemului de măsură.

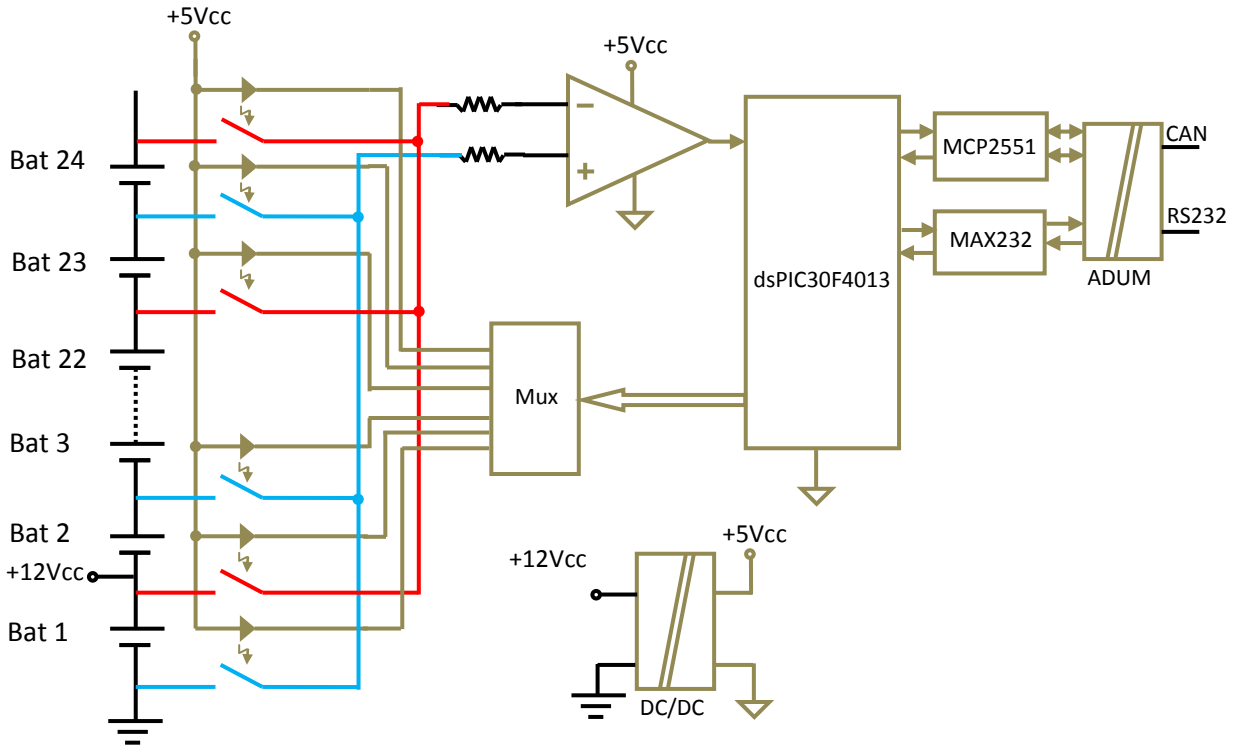


Fig. 11. Schema de principiu a sistemului de monitorizare a tensiunii pe baterii

Sistemul numeric folosit pentru monitorizarea tensiunii este un controler pe 16 biți, în virgulă fixă al firmei Microchip (dsPIC30F4013). Măsura tensiunii pe fiecare baterie este realizată prin intermediul convertorului analog – numeric pe 12 biți al microcontrolerului. Pentru a asigura separarea galvanică a întregului sistem numeric, alimentarea se face de la o sursă DC-DC în comutație (de tipul DC-109), conectată la o tensiune de 12 V ce poate fi luată de pe oricare baterie prin intermediul conectorului CON2 (POWER 12 VCC). Comunicarea sistemului de monitorizare cu celelalte sisteme de pe vehicul se face prin intermediul rețelei CAN (Control Area Network). De asemenea pentru etapa de testare și implicit interfața cu utilizatorul sistemul este conectat la PC prin intermediul comunicației seriale RS232. Ambele sisteme de comunicație folosesc circuite specializate, pentru adaptarea nivelelor de tensiune a semnalelor la magistrala de date (rețea). Separarea galvanică a rețelelor de comunicare (CAN și RS232) s-a realizat prin intermediul unui circuit specializat, ADuM640x, ce este capabil să funcționeze la viteza cerută de comunicația serială fără a introduce întârzieri semnificative în procesul de comunicație. Schema acestui circuit este prezentată în fig. 12.

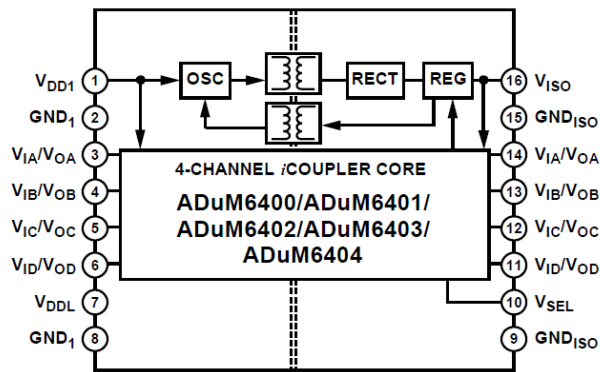


Fig. 12. – Diagrama bloc a circuitului ADuM640x.

Circuitul este capabil ca pe lângă separarea galvanică a semnalelor numerice să asigure la ieșirea sa și o tensiune de alimentare separată galvanic (5V sau 3,3V). Această tensiune este folosită pentru a asigura alimentarea circuitelor transceiver ale interfeței serială RS232 (max232) respectiv interfeței CAN (MCP2551).

Modul de partajare a resurselor sistemului cu microcontroler, sursa de alimentare cu separarea galvanică a sistemului numeric cât și separarea galvanică pe partea de comunicare a sistemului pot fi observate în schema electrică realizată în Orcad/Pspice din fig. 13.

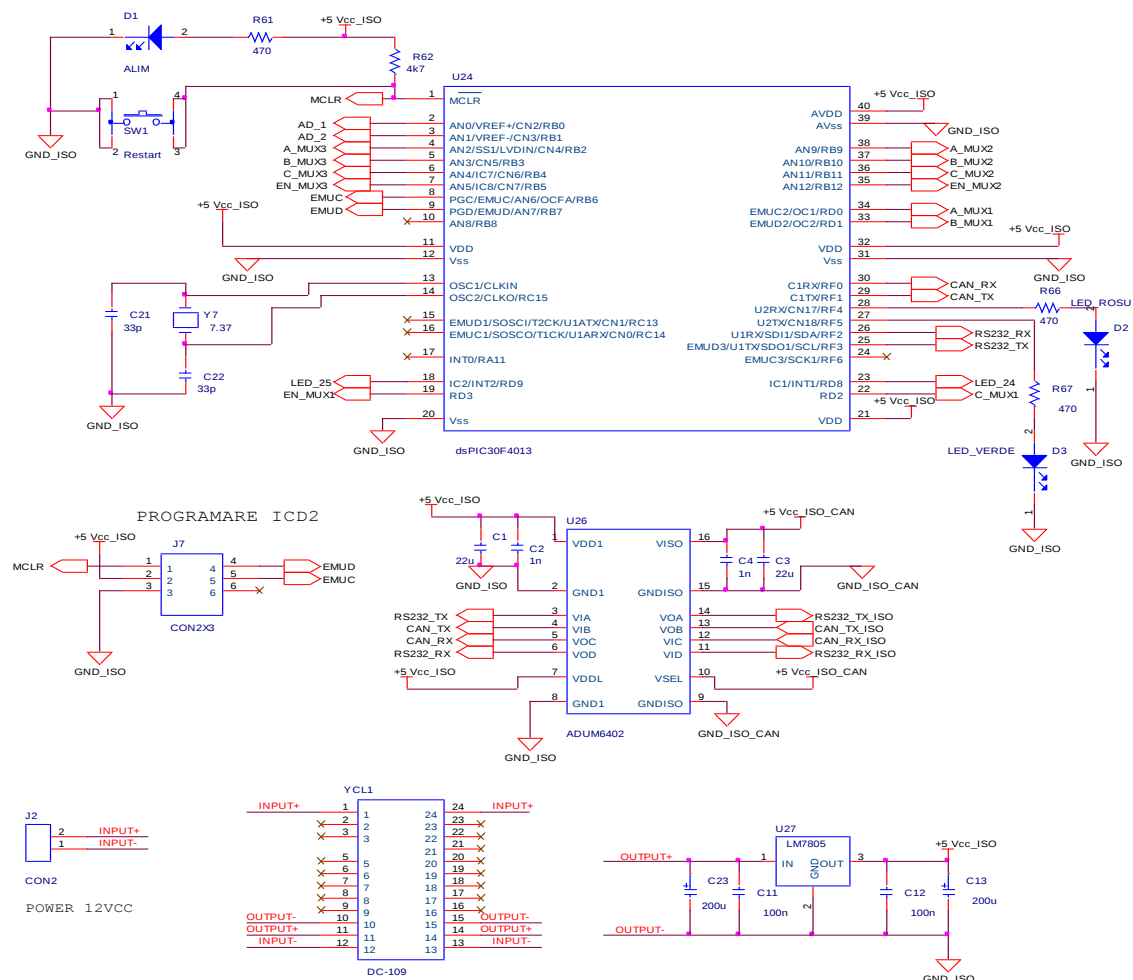


Fig. 13. – Schema electrică a sistemului numeric de control cu dsPIC30F4013.

În figura 13. este prezentată schema electrică a comunicației seriale RS232 și CAN ce cuprinde transceiver-ele amintite anterior și alocarea pinilor pentru cuplele folosite (CONNECTOR DB9).

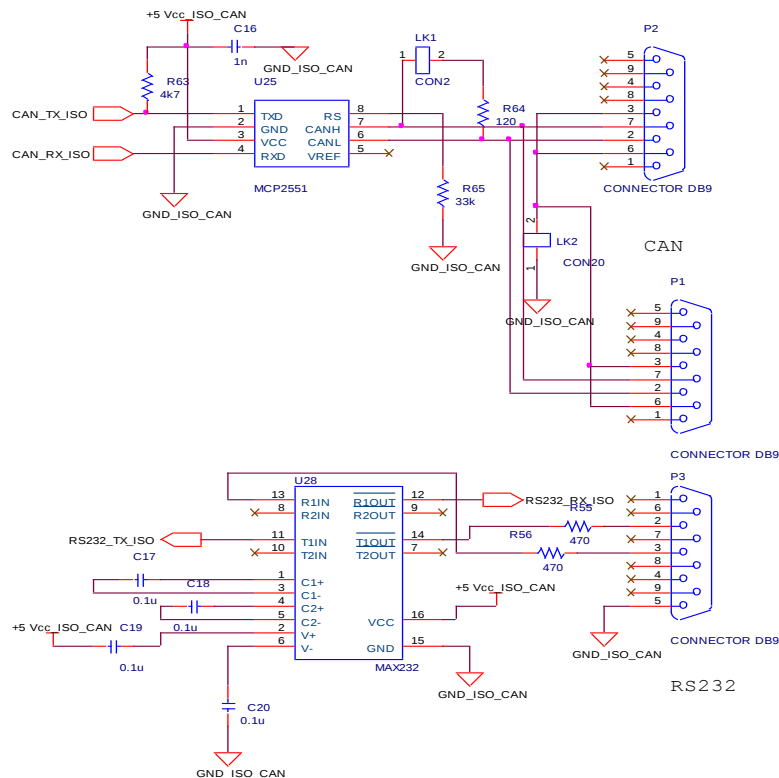


Fig. 14. – Schema electrică pentru comunicarea serială (CAN și RS232).

În scopul reducerii numărului de semnale ce trebuie controlate de microcontroler pentru a conecta pe rând fiecare baterie la convertorul AD, comanda de deschidere și închidere a comutatoarelor (AQW210 – ce au fost reprezentate în fig. 12) este dată prin intermediul a 3 multiplexoare (74F128). Deoarece în varianta folosită pentru măsura tensiunii, tensiunile ce se măsoară pot avea valori cuprinse între -15V și +15V, ele sunt translatate și scalate în gama (0,5)V cu ajutorul unui amplificator operațional în montaj diferențial ca cel din fig. 15. De asemenea tot în această figură se poate observa cum este conectată fiecare baterie la sistemul numeric de adaptare a semnalelor de tensiune pentru a fi măsurată.

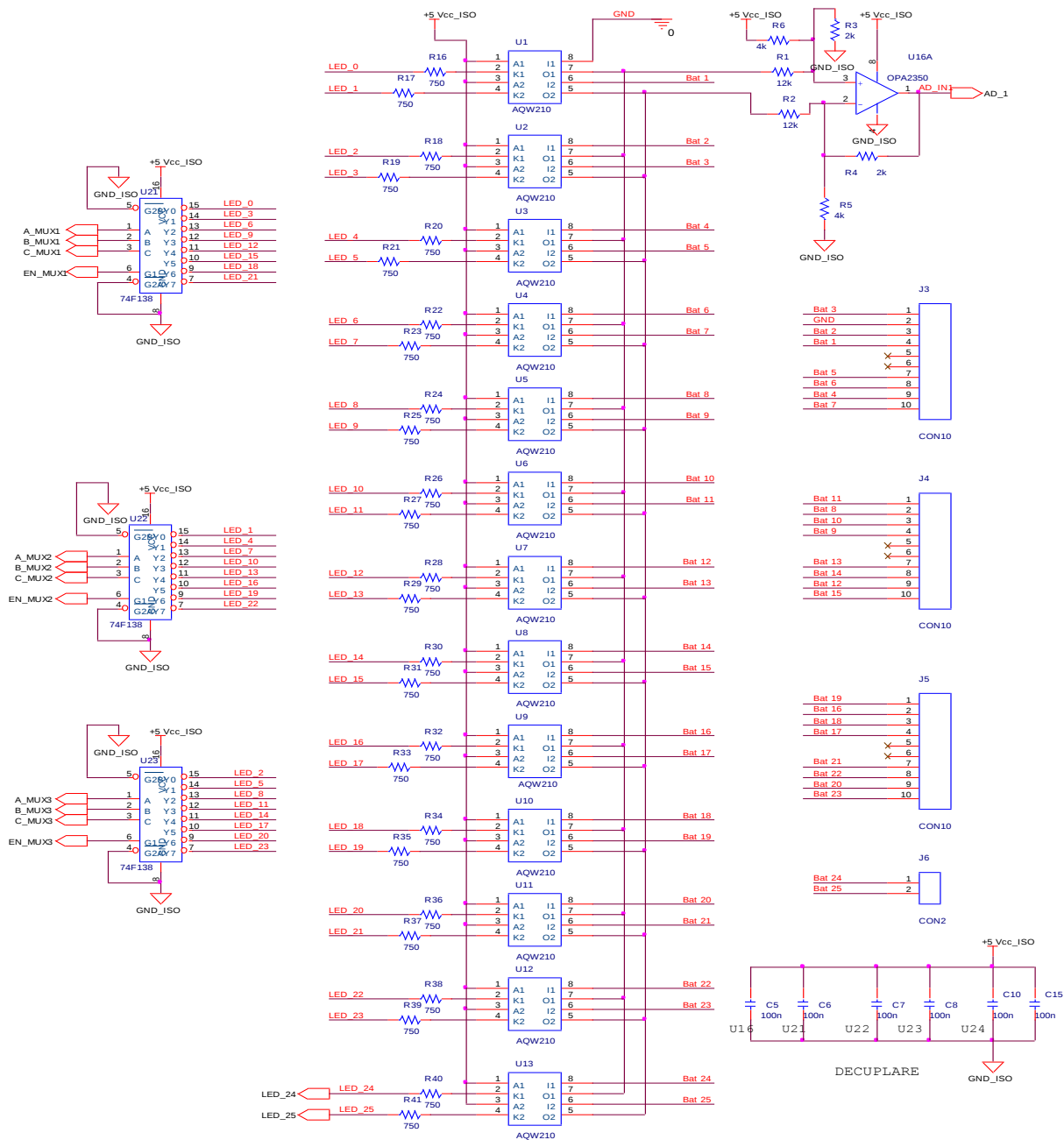


Fig. 15. – Schema electrică a sistemului de achiziție a semnalelor de tensiune.

În fig. 16. este prezentat sistemul de monitorizare a tensiunii pe baterie, proiectat în Orcad/Layout.

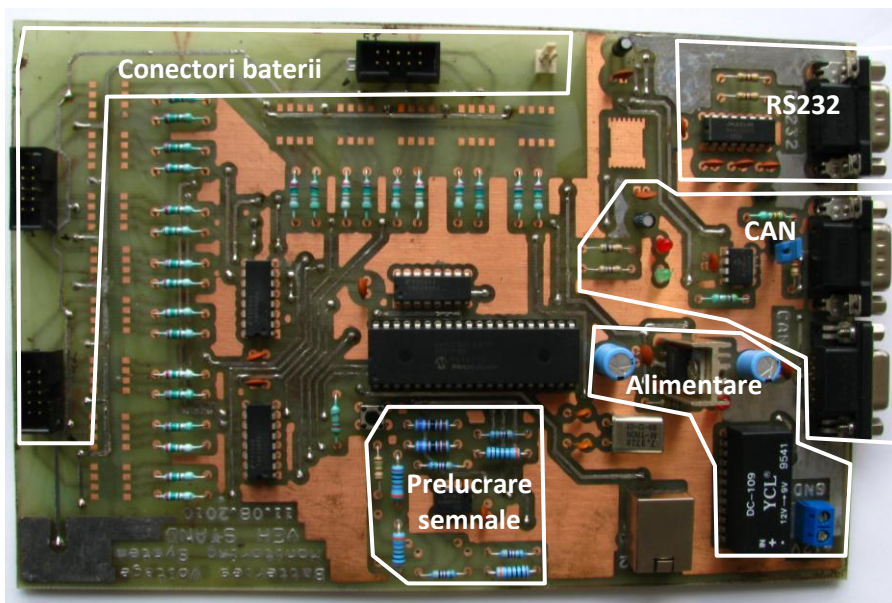


Fig. 16. – Sistemul de monitorizare a tensiunii pe baterie (top).

Circuitul fiind dublu placat componentele SMD au fost plasate pe partea inferioară și atunci ele se pot observa în fig. 17.

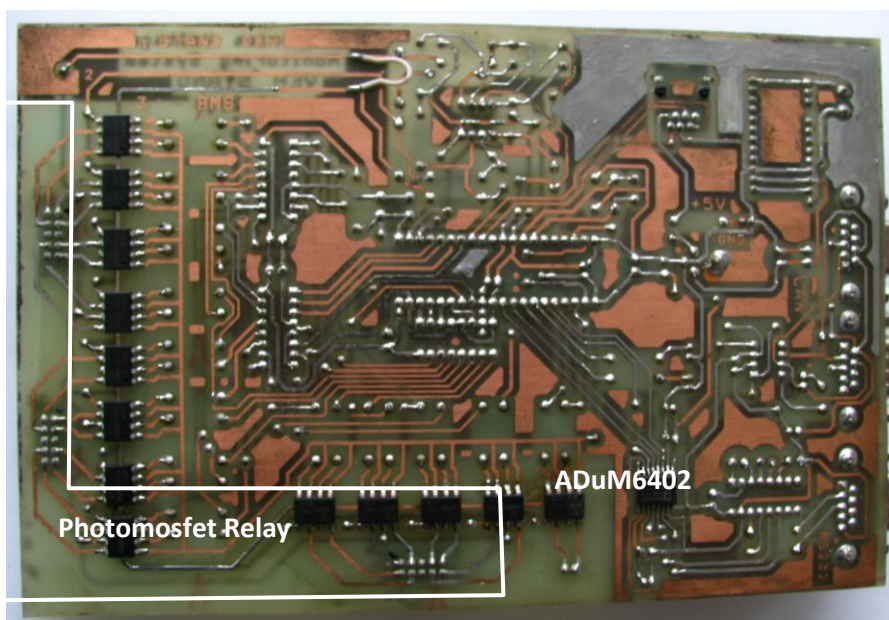


Fig. 17. – Sistemul de monitorizare a tensiunii pe baterie (bottom).

Organigrama programului principal este arătată în fig. 18. Ceasul de tip real este ținut de un numărător (timer) configurat să furnizeze întrerupere la fiecare milisecundă. La fiecare întrerupere este setat flag-ul Trigger.

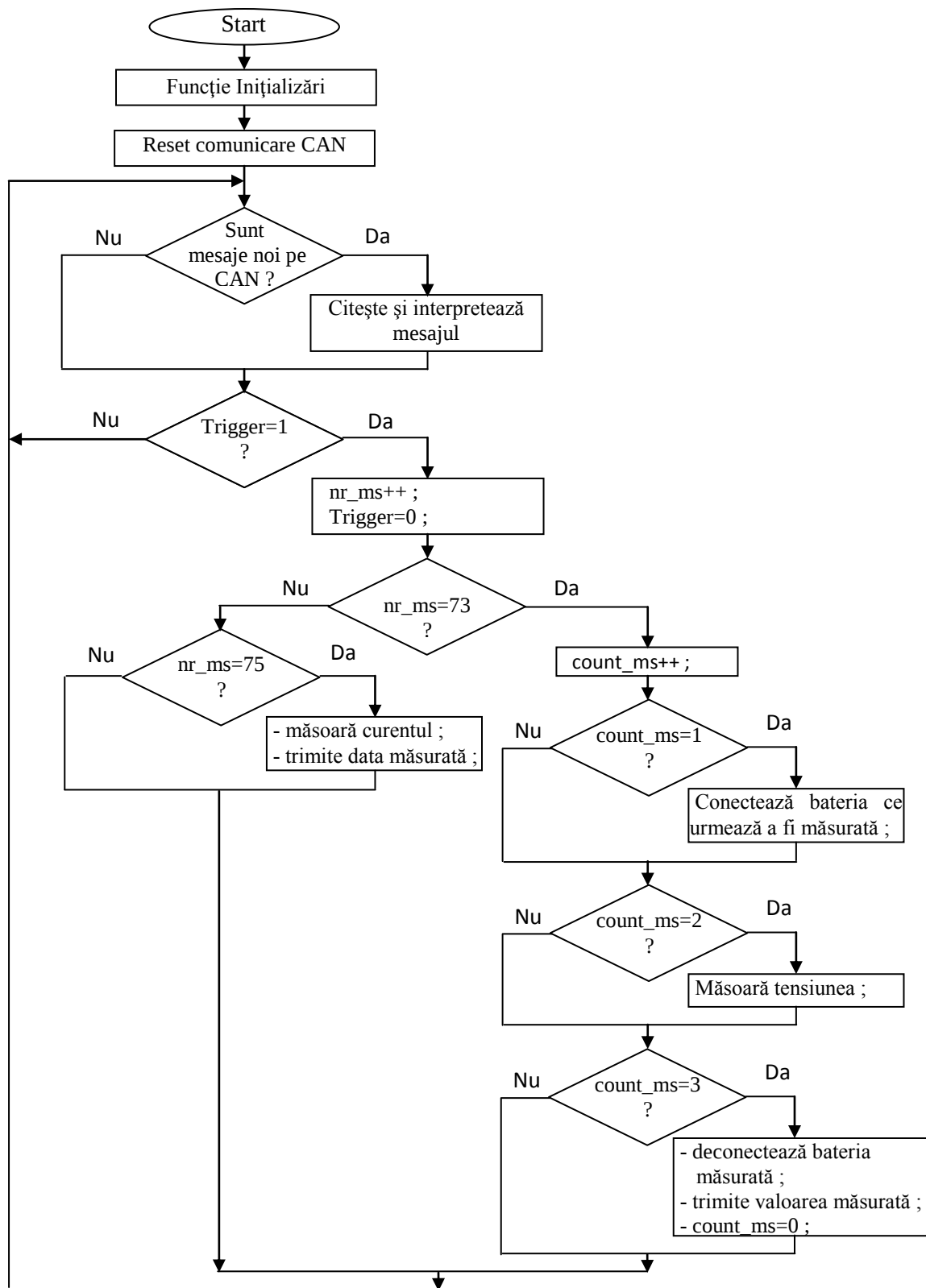


Fig. 18. – Organigrama programului pentru monitorizarea tensiunii pe baterii.

Din motive de siguranță timpul lăsat pentru deschiderea și respectiv blocarea unui PhotoMosfet este de o milisecundă. De asemenea și pentru măsura semnalului a fost alocată tot o milisecundă. Cu alte cuvinte măsura tensiunii unei baterii se face în 3 milisecunde, aceasta și datorită faptului că variația tensiunii la bornele bateriei este suficient de lentă și nu suferă modificări importante în cele 3x24 milisecunde cât durează pentru a parcurge fiecare baterie. La cele 72 de milisecunde se adaugă încă 3 milisecunde pentru măsura curentului prin baterii.

Sistemul de stocare a energiei pe standul de vehicul electric hibrid este alcătuit din 24 de baterii pe Pb, de 12V și o capacitatea de 40Ah. Pentru managementul grupului de baterii este utilizat același sistem numeric folosit pentru monitorizarea tensiunii, la care se adaugă o măsură a curentului. Echilibrarea se face în mod natural, deoarece avem baterii pe Pb, care permit acest lucru. Sistemul de management al bateriilor realizat practic pentru standul de vehicul electric hibrid este reprezentat în fig. 19.

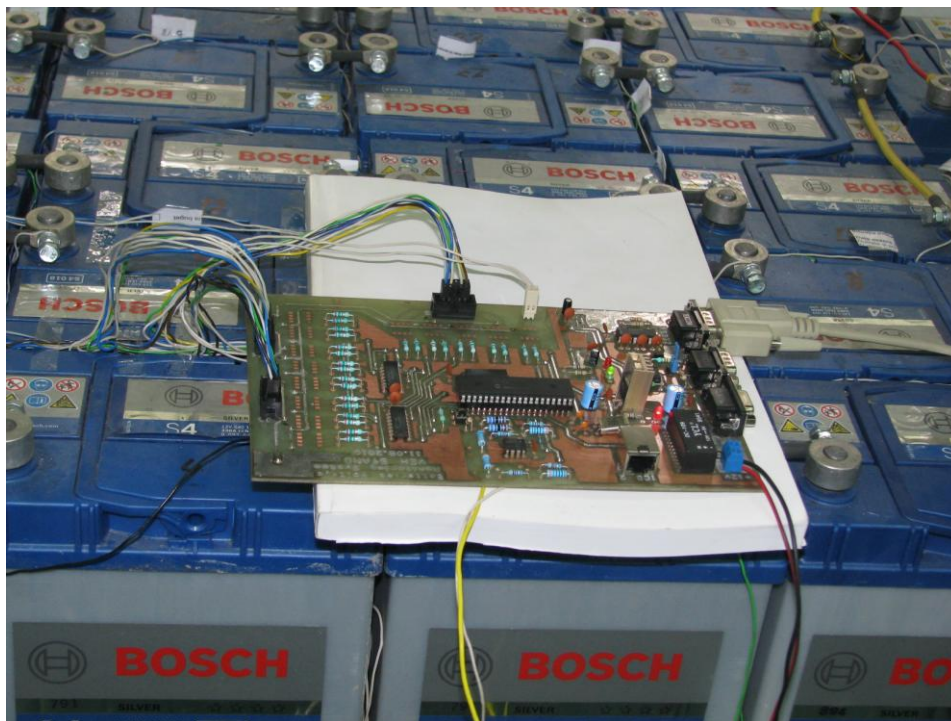


Fig. 19. – Sistemul de management al bateriilor.