

PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNUI PACHET DE ACUMULATORI CU CAPACITATEA DE 23KWH UTILIZAT ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE

BACUE Vlad

Conducător științific: Conf.dr.ing. Tom SAVU

REZUMAT: Lucrare descrie etapele parcurse până în prezent în vederea proiectării și realizării unui pachet de acumulatori cu capacitatea de 23 kWh ce urmează a fi utilizat în industria automotive pentru o serie de zece unități de autovehicule electrice, cât și rezultatul la care s-a ajuns în momentul de față. Fiecare etapă reprezintă o variantă de asamblare pentru modulele ce formează pachetul de acumulatori, cât și incinta în care aceștia sunt orientați și fixați, etapele finalizându-se cu modelul fizic a ceea ce s-a proiectat și analiza testelor la care atât pachetul de acumulatori, cât și echipamentele electronice au fost supuse.

CUVINTE CHEIE: acumulatori, analiză, automotive

1 INTRODUCERE

Sistemele din care este alcătuit autovehiculul electric sunt următoarele:

- sistem de propulsie
- sistem de stocare a energiei
- sistem de monitorizare a acumulatorilor
- sistem de încărcare a acumulatorilor
- sistem de alimentare 12V
- unitate de control

Sistemul de propulsie este alcătuit din motor electric de curent continuu sau alternativ și cutie de viteze ce asigură mișcarea de rotație a planetarelor și este transmisă mai departe către roți. Pentru rotirea axului motorului este necesară alimentarea cu energie electrică, ce este stocată în acumulatori de diferite tipuri și forme, care este transformată după caz din curent continuu în curent alternativ de unitatea de control. Pentru asigurarea confortului și siguranței pasagerilor este necesar un convertor DC-DC ce alimentează acumulatorii de 12V ai autovehiculului, înlocuind funcția alternatorului. Pentru un bun management al sursei de energie, este necesar un sistem de monitorizare al acestora care se asigură că bateriile se încarcă și se descarcă conform parametrilor lor de funcționare.

Pachetul de acumulatori folosit în industria automotive pentru a asigura sursa de energie folosită la propulsia autovehiculului vine în diferite forme,

Specializarea Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea IMST;

E-mail: vladbacue@gmail.com;

dimensiuni și sisteme de asamblare, acestea putând fi prismatice, cilindrice, sau tip pouch, fiecare având diferite tipuri de asamblare. Tipul de celulă care s-a folosit la proiectarea și realizarea pachetului de acumulatori este de tip pouch.(vezi figura 1)



Fig 1. Model celula pouch

Caracteristicile celulei utilizate sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1.

Capacitate	40Ah
Densitate curent	155Wh/kg
Tensiune maximă	4,2V
Tensiune minimă	3,0V
Tensiune nominală	3,65V
Rată încărcare	4C
Rată descărcare	10C
Temperaturi operare	-20°C - +50°C
Durata de viață	6000 cicluri
Dimensiuni	155x249x13

2 DEZVOLATAREA PACHETELOR ENERGETICE

2.1 Dezvoltarea pachetului energetic de 5,8 kWh

În vederea realizării primului pachet de acumulatori ce urmau să asigure sursa de energie necesară deplasării autovehiculului s-a ales folosirea unui pachet de acumulatori cu tensiunea nominală de 144V, necesară alimentării echipamentelor electronice precum motor, controller, convertor DC-DC, on-board charger, sistem de monitorizare al acumulatorilor. Consumul de curent electric atât al motorului cu puterea nominală 15kW și puterea maximă 45kW, cât și al celorlalte componente ce asigură rularea autovehiculului electric fiind de maxim 360A, s-a ales capacitatea pachetului de acumulatori de 40Ah. Folosirea unei capacități a acumulatorilor de 40Ah s-a putut realiza datorită capabilității celulelor de lithium-ion, tehnologie LiNiMnCoO₂ (NMC), de a asigura o rată de descărcare de până la de zece ori capacitatea celulei, astfel asigurând o capacitate de 400A. Pachetul de acumulatori format din patruzeci de celule cu tensiunea de 3.65V și capacitatea de 40Ah, conectate în serie s-a asamblat într-un bloc compact cu dimensiunile 624x176x282mm, utilizând tehnologia de asamblarea a celulelor deja existentă, cu rame din material plastic reciclat, având la baza polietilena de înaltă densitate, realizate prin injecție în matrițe.

Pentru montarea pachetului de acumulatori pe caroseria autovehiculului s-a ales proiectarea și realizarea unei incinte din tablă, care totodată să asigure fixarea și orientarea controller-ului, releelor de înaltă tensiune, și convertorului DC-DC. Pentru realizarea acestei incinte, numite ulterior "cover", s-a ales folosirea tablei cu grosimea de 1,5mm, material OL37, asamblată nedemontabil, prin sudură, pe un schelet metalic din țevă pătrată având dimensiunile 20x20mm, grosimea 1,5mm, material OL37. Principalele motive pentru care s-a ales această variantă au fost costul și durata de execuție, aceasta fiind o varianta prototip ce avea ca obiectiv determinarea comportamentului acumulatorilor în exploatarea acestora ca sursa de energie necesară deplasării autovehiculului electric.

Condițiile impuse incintei pachetului de acumulatori enumerate anterior nu s-au impus acestei variante. Pentru proiectarea incintei principiile două obiective au fost ca aceasta să asigure elemente de fixare și orientare precum ghidaje și șuruburi M6 sudate pe pereții acesteia în corespondență cu găurile de trecere din elementele de fixare de pe pachetul de acumulatori și să asigure orientarea și fixarea incintei pe caroseria autovehiculului prin ghidaje și găuri de trecere. După realizarea modelului 3D și analizarea acestuia împreună cu furnizorul ce asigura realizarea prelucrărilor s-a decis înlocuirea tablei de 1,5mm grosime cu tabla de 1mm grosime și înlocuirea țevilor rectangulare ce formau scheletul incintei cu țevi rectangulare de 15x15x1 (vezi figura 2). În urma acestor modificări reducându-se masa

Fig. 2 Incinta pachet acumulatori 5,8 kWh



incintei de la 27,8kg la 16,7kg, asamblarea modului a devenit mai facilă, stragerea piulitelor ce asigurau fixarea făcându-se cu un efort mai redus, iar costul a

scazut cu 23%. În urma modificărilor aduse modelului 3D, s-au realizat desenele de execuție și desenul de ansamblu în vederea realizării incintei bateriilor.

Pentru realizarea debitării, îndoirii, sudurii, găuririi tablelor și țevilor s-au utilizat echipamente precum: echipament de debitare laser CNC Bystronic ByFiber4020, echipament de îndoire tip abkant CNC SCHIAVI, echipament de sudură MIG/MAG SYNERGIC 324S. După realizarea cutiei metalice pentru acumulatori, s-a realizat asamblarea celulelor lithium-ion într-un modul compact pentru ca apoi acesta să se fixeze în incinta.

Având pachetul de acumulatori realizat, s-a montat acesta pe caroseria autovehiculului urmând realizarea conexiunilor electrice și pornirea echipamentului electronic (vezi figura 2). După primul test în care s-a studiat comportamentul controllerului, sistemului de monitorizare al acumulatorilor, converterul dc-dc, s-a constatat ca acestea funcționează. Motorul primea curent alternativ necesar funcționării de la controller în funcție de nivelul de apăsare al pedalei de accelerație. Converterul DC-DC asigură tensiunea și curentul necesar alimentării acumulatorului de 12V cu care este echipat autovehiculul. Sistemul de monitorizare al acumulatorilor realizează analiza tensiunilor celulelor ce alcătuiesc pachetul de acumulatori și realizează corecțiile necesare pentru o bună funcționare a acumulatorilor în funcție de sarcina la care era supus autovehiculul.

Pentru testarea comportamentului acumulatorilor s-a ales viteza de rulare 45km/h, testele realizându-se pe o pistă de testare de tip circuit cu lungimea de 7,8 km, temperatura 21°C, treapta a treia de viteză. În timpul testului s-au studiat

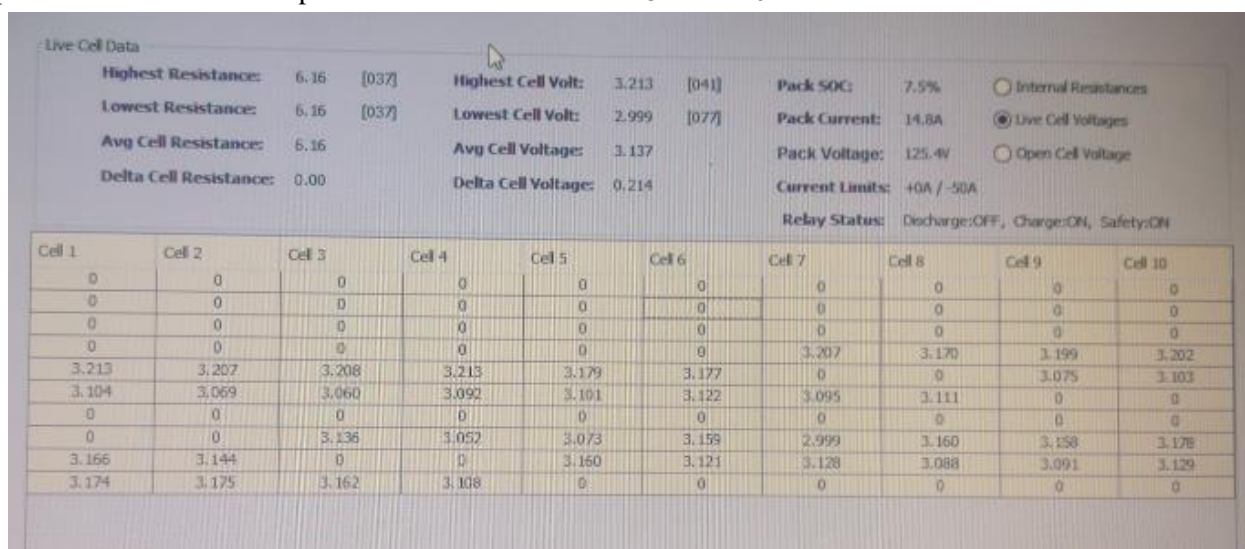
tensiunile fiecărei celule din componența pachetului de acumulatori, nivelul de încărcare al bateriei, temperatura pachetului de acumulatori, toate aceste informații fiind redată de sistemul de monitorizare al acumulatorilor în format grafic și tabelar (vezi figura 3). În urma parcurgerii distanței de 32km, cu 6 km mai puțin față de distanța estimată, s-au constatat următoarele:

- Temperatura pachetului de acumulatori nu a depășit 34,3°C
- Diferența de tensiune dintre celule nu a fost mai mare de 0.05V în timpul descărcării
- Rata de descărcare nu a depășit 1,5 C
- Nivelul de încărcare al acumulatorilor s-a afișat cu o eroare de ±2% față de cel real.

Consumul de energie pentru realizarea deplasării a fost de 156.2W/km, cu 12% mai mare față de cel estimat. Temperatura celulelor a rămas în parametrii furnizați de producător, 33.8-34.6 la rata de descărcare de 1,5C. Temperatura controller-ului a atins pragul de 50°C, cu 12°C mai mare față de cea menționată în caracteristicile tehnice, în condițiile în care acestuia nu i s-a asigurat răcire, așa cum impune producătorul. Temperatura motorului electric nu a depășit 40°C, înregistrându-se în parametrii normali.

În concluzie, atât celulele, cât și întreg pachetul de acumulatori, împreună cu sistemul de monitorizare al acumulatorilor, controller și motorul au funcționat armonios, deplasarea cu viteza de 45km/h realizându-se în parametrii normali ai echipamentului ce asigură deplasarea autovehiculului electric. S-a decis creșterea capacității acumulatorilor până la valoarea de

Fig. 3 Afisaj date sistem monitorizare baterie



17,3Kw și păstrarea sistemului de propulsie în vederea efectuării a noi teste ce vizau monitorizarea și analiza consumului, temperaturilor, comportamentul acumulatorilor atât la încărcare, cât și la descărcare, autonomiei, eficiența sistemului de încălzire, la o viteză medie de 60km/h, temperatura de 22°C.

2.2 Dezvoltarea pachetului energetic de 17,5 kWh

Pentru realizarea pachetului de acumulatori de 17,5Kwh au fost necesare 120 celule lithium-ion cu tensiunea nominală 3,65V și capacitatea 40Ah. Înseriind 40 de serii de trei celule conectate în paralel s-a obținut tensiunea 146V și capacitatea 120Ah. Cele 120 celule au fost grupate în patru module de treizeci de celule fiecare având tensiunea 36,5V și capacitatea 120Ah. S-a folosit acest format al modulelor pentru ca acestea să poată fi dispuse în două incinte, una în locul rezervorului de carburant cu care era echipat autovehiculul, și a doua incintă în zona portbagaj, în spatele banchetei (vezi figura 4).

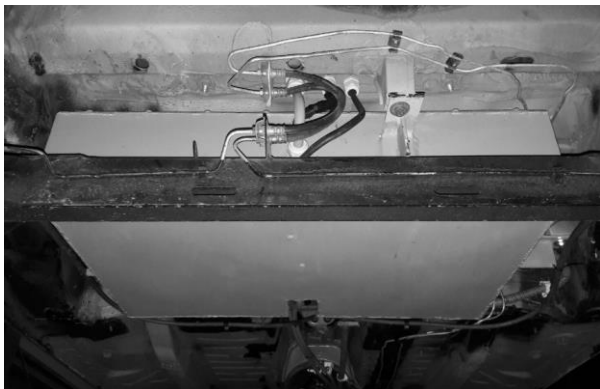


Fig. 4 Incinta pachet acumulatori zona rezervor

Astfel, s-au realizat două incinte în aceeași manieră cu cea utilizată anterior pentru pachetul de acumulatori de 5,8 kW. Pentru proiectarea acestor două incinte principiile obiective au fost ca acestea să asigure elemente de fixare și orientare precum ghidaje și piulițe M6 sudate pe pereții acestora în corespondență cu găurile de trecere din elementele de fixare de pe pachetul de acumulatori și bateriilor și să asigure orientarea și fixarea incintei pe caroseria autovehiculului prin ghidaje și găuri de trecere respectându-se prinderile în care a fost fixat rezervorul de carburant. De asemenea, s-a urmărit încă de la proiectare ca aceste cutii metalice să împiedice pătrunderea apei și impurităților înăuntru, menținerea masei cât mai scăzută a acestor incinte și asigurarea susținerii masei acumulatorilor de către

incinte. În consecință, pentru noile incinte pentru pachetele de acumulatori de 17,5 kW s-a înlocuit structura de țevă 15x15x1 cu o structură de cornier 20x20x2, iar grosimea tablei s-a mărit, utilizând tablă cu grosimea de 2mm (vezi figura 6).

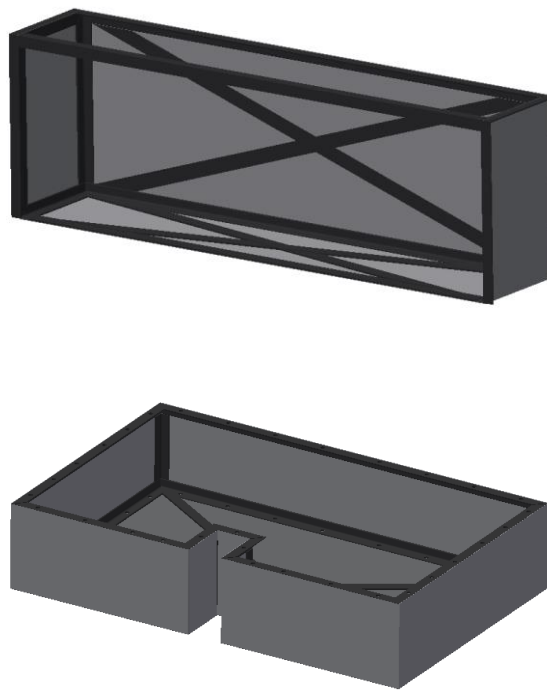


Fig. 6 Model 3D incinta zona portbagaj

După proiectarea modelelor 3D și analiza acestora împreună cu furnizorul de prelucrări, s-au realizat cele două repere, rezultând două incinte din oțel cu masele 21,2kg și respectiv 17,1 kg. Pentru realizarea debitării, îndoirii, sudurii, găuririi tablelor și țevilor s-au utilizat echipamente precum: echipament de debitare laser CNC Bystronic ByFiber4020, echipament de îndoire tip abkant CNC SCHIAVI, echipament de sudură MIG/MAG SYNERGINC 324S.

După realizarea cutiilor metalice pentru acumulatori, și asamblarea celor patru module de acumulatori, s-a realizat fixarea modulelor în cele două incinte. Înainte de asamblarea cutiilor pe caroseria autovehiculului, s-a realizat cablajul prin intermediul căruia sistemul de management al bateriei monitorizează tensiunea celulelor (vezi figura 7).

După realizarea cablajului, cele două incinte au fost acoperite cu Teroson Terowax pentru acoperirea porilor și imperfecțiunilor și prevenirea coroziunii, iar în zona de contact dintre capac și cutie s-a aplicat silicon Liqui Moly pentru etanșare.

Pachetele de acumulatori fiind pregătite pentru montaj, s-au fixat pe caroseria autovehiculului.



Fig. 7 Module asamblate, fixate in incinta si cablate

Pentru realizarea încălzirii habitacului s-a ales înlocuirea radiatorului din incinta HVAC cu o rezistență electrică cu puterea de 2000W. Încărcarea acumulatorilor necesită un echipament ce transformă curentul electric alternativ în curent electric continuu. În acest sens s-a utilizat un charger on-board ce utilizează tensiunea de intrare 230V curent alternativ și tensiunea de ieșire 144V curent continuu cu puterea de 3,3 Kw (vezi figura 8).



Fig. 8 Dispunere componente electronice zona incintă motor

Comanda ce permite acestui echipament încărcarea acumulatorilor este realizată de sistemul de monitorizare al bateriei.

În ceea ce privește testarea, s-a recurs la trei cicluri de testare fiecare având obiective specifice.

- Ciclul 1 – monitorizarea autonomiei, stării de încărcare, comportamentului acumulatorilor, deplasarea realizându-se cu viteza de 60km/h în treapta a patra de viteză, temperatura 22°C, sistem încălzire oprit
- Ciclul 2 – monitorizarea autonomiei, stării de încărcare, comportamentului acumulatorilor, deplasarea realizându-se cu viteza de 50km/h în treapta a patra de viteză, temperatura 22°C, sistem încălzire pornit
- Ciclul 3 – monitorizarea stării de încărcare a acumulatorilor, a comportamentului acumulatorilor și a charger-ului on-board la încărcarea acumulatorilor utilizând tensiunea de 230V și curentul 16A.

În urma parcurgerii distanței de 130km cu sistemul de încălzire oprit și 100km cu sistemul de încălzire pornit, consumul de energie pentru realizarea deplasării a fost de 134,6W/km cu căldura oprită și 175,2 cu căldura pornită. Temperatura celulelor a rămas în parametrii furnizați de producător, 39.9-42,1 la rata de descărcare de 2,5C. Temperatura controller-ului a atins pragul de 56°C, cu 18°C mai mare față de cea menționată în caracteristicile tehnice, în condițiile în care acestuia nu i s-a asigurat răcire, așa cum impune producătorul. Temperatura motorului electric nu a depășit 44°C, înregistrându-se în parametrii normali. Sistemul de încălzire a habitacului a asigurat temperatura de 28°C pe durata testului. Sistemul de monitorizare al acumulatorilor a monitorizat și controlat încărcarea timp de șapte ore și douăzeci de minute, timp necesar încărcării acumulatorilor de la 0% stare de încărcare până la 100% stare de încărcare. Când starea de încărcare a acumulatorilor a atins 95% sistemul de monitorizare a comandat electronic reducerea curentului de încărcare pentru a facilita procesul de balansare al celulelor, proces ce nu permite încărcarea individuală a celulelor la o tensiune mai mare de 4,2V. Când sistemul de monitorizare al acumulatorilor detectează o tensiune ce tinde să depășească valoarea de 4,2V, acestea aplică sarcină și descarcă acea celulă pentru a o aduce la același nivel cu celelalte celule ce intra în componența pachetului de acumulatori.

În concluzie, atât celulele, cât și întreg pachetul de acumulatori, împreună cu sistemul de monitorizare al acumulatorilor, sistem de încălzire, sistem de încărcare, controller și motorul au funcționat armonios, deplasarea cu viteza de 50km/h și 60km/h realizându-se în parametri normali ai echipamentului ce asigură deplasarea autovehiculului electric. S-a decis creșterea capacității acumulatorilor până la valoarea de 23,3 kWh și păstrarea sistemului de propulsie în vederea efectuării a noi teste ce vizau monitorizarea și analiza consumului, temperaturilor, comportamentul acumulatorilor atât la încărcare, cât și la descărcare, autonomiei, eficiența sistemului de încălzire, la o viteză medie de 60km/h, temperatura de 22°C,

2.3 Dezvoltarea pachetului energetic de 23,3 kWh

Pentru realizarea pachetului de acumulatori de 23,3Kwh au fost necesare 160 celule lithium-ion cu tensiunea nominală 3,65V și capacitatea 40Ah. Înseriind 40 de serii de patru celulele conectate în paralel s-a obținut tensiunea 146V și capacitatea 160Ah. Cele 160 celule au fost grupate în trei incinte, numărul de celule fiind distribuit în mod egal între zona unde anterior era montat rezervorul de carburant al autovehiculului și zona incintă motor. În ceea ce privește proiectarea, principalul obiectiv este ușurarea incintelor pachetelor de acumulatori. În acest sens s-a ales folosirea tablei de aluminiu striată cu grosimea de 3mm, fără structură de rezistență (vezi figura 9).

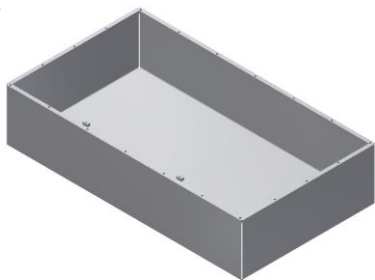


Fig. 9a Incinta aluminiu rezervor

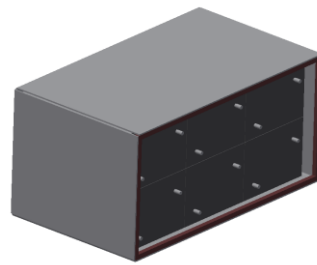


Fig. 9b Incinta aluminiu 1 zona motor

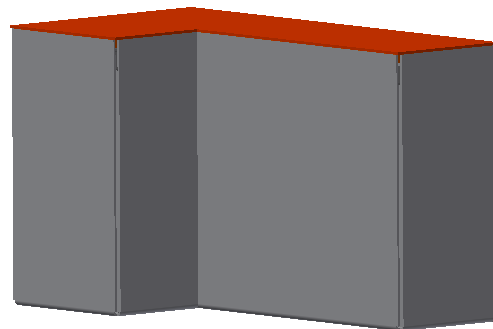


Fig. 9c Incinta aluminiu 2 zona motor

3 CONCLUZII

Până în momentul de față alegerea aluminiului pentru construcția incintelor este soluția cea mai bună din punct de vedere al maselor, costurilor și dificultății de realizare. În urma testelor efectuate cu incintele din aluminiu s-a constatat că una dintre ele necesită modificări. După efectuarea modificărilor se vor efectua testele necesare și se va lua o decizie de construcție a incintelor prin alegerea uneia din cele trei variante.

4 MULȚUMIRI

Conf.dr.ing. Tom SAVU pentru sprijinul acordat pe durata desfășurării proiectului

Colegilor Vicentiu CIOBANU și Marian TRANDAFIR pentru suportul tehnic

5 BIBLIOGRAFIE

- [1]. EVWEST.com
- [2]. HPEVS.com
- [3]. batteryuniversity.com
- [4]. Wikipedia.org